Е. И. ЗАБОКРИЦКИЙ
Б. А. ХОЛОДОВСКИЙ
А. И. МИТЧЕНКО
СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Е. И. Забокрицкий
Б. А. Холодовский
А. И. Митченко

справочник

по наладке электроустановок и электроавтоматики



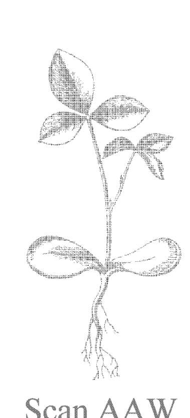
Е. И. ЗАБОКРИЦКИЙ
Б. А. ХОЛОДОВСКИЙ
А. И. МИТЧЕНКО



СПРАВОЧНИК

по наладке электроустановок и электроавтоматики

Издание третье,
переработанное и дополненное





КИЕВ НАУКОВА ДУМКА 1985

УДК 621.315.17:621.311.4(03)

Рассмотрены методики, объемы и нормы приемосдаточных и профилактических испытаний электрооборудования и устройств электроавтоматики промышленных предприятий, городских и сельских электроустановок. Приведены некоторые приближенные расчеты, используемые в наладочной практике. Объем и нормы испытаний даны в соответствии с ГОСТами, «Правилами устройства электроустановок» и другими директивными материалами.

Для работников, занятых наладкой и эксплуатацией электрических станций, подстанций, сетей и электрооборудования промышленных предприятий. Может служить также учебным пособием для практических занятий студентов высших и средних электротехнических учебных заведений.

Ответственный редактор *И. И. Заруба*

Рецензенты *Б. А. Никитин, В. С. Скрябинский*

Редакция справочной литературы

З $\frac{2302000000\text{-}201}{М221(04)\text{-}85}$ 385-85

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

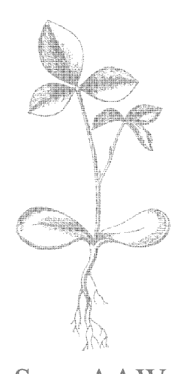
Основными направлениями развития народного хозяйства СССР в одиннадцатой пятилетке, утвержденными XXVI съездом КПСС, предусмотрено дальнейшее опережающее развитие электроэнергетики как отрасли, непосредственно обеспечивающей ускорение научно-технического прогресса, повышение эффективности производства и увеличение производительности труда.

Для последнего десятилетия характерно значительное обновление аппаратуры электротехнических установок промышленных предприятий, городских и сельских распределительных сетей, широкое внедрение существенно новых видов электрооборудования и автоматических устройств. Это новые серии и виды электрических машин и трансформаторов, силовые полупроводниковые приборы, вытеснившие в значительной мере ионные вентили и электромашинные преобразовательные агрегаты, автоматические регуляторы возбуждения синхронных машин, коэффициента трансформации силовых трансформаторов, мощности конденсаторных батарей и другое оборудование, которое используется на вновь строящихся объектах и при модернизации действующих электроустановок.

В течение этого десятилетия практически полностью обновлена нормативно-техническая документация, регламентирующая выполнение испытательно-наладочных работ по электрооборудованию. Изданы новые государственные стандарты и стандарты Совета экономической взаимопомощи, «Правила устройства электроустановок», «Правила технической эксплуатации электроустановок промышленных предприятий» и др. Одновременно увеличилось число рабочих и инженерно-технических работников, занятых выполнением испытательно-наладочных работ как в специализированных организациях, так и непосредственно на предприятиях, использующих электрооборудование и электроавтоматику. Все это вызвало необходимость переиздания и существенной переработки справочника.

Главы I—VIII переработаны Е. И. Забокрицким, главы X и XVIII написаны Е. И. Забокрицким, Б. А. Холодовским и А. И. Митченко, главы IX, XI—XVII, XIX переработаны Б. А. Холодовским.

Все замечания и пожелания авторы просят направлять по адресу: 252601 Киев 4, ул. Репина, 3, издательство «Наукова думка».



Глава I

ОБЩИЕ СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1.1. **Некоторые единицы Международной системы СИ (СТ СЭВ 1052—78)**

Величина	Единица измерения	Обозначение единицы	Размер единицы
	Основные единицы		
Длина	метр	м	
Масса	килограмм	кг	
Время	секунда	с	
Сила электрического тока	ампер	А	
Термодинамическая температура	кельвин	К	
Сила света	свеча	св	
Количество вещества	моль	моль	
	Дополнительные единицы		
Плоский угол	радиан	рад	
Телесный угол	стерадиан	ср	
	Производные единицы		
Площадь	квадратный метр	$м^2$	(1 м) · (1 м)
Объем	кубический метр	$м^3$	(1 м) · (1 м) · (1 м)
Частота	герц	Гц	(1) : (1 с)
Скорость	метр в секунду	м/с	(1 м) : (1 с)
Скорость угловая	радиан в секунду	рад/с	(1 рад) : (1 с)
Ускорение линейное	метр на секунду в квадрате	$м/с^2$	(1 м) : $(1\ с^2)$
Ускорение угловое	радиан на секунду в квадрате	$рад/с^2$	(1 рад) : $(1\ с^2)$
Плотность	килограмм на кубический метр	$кг/м^3$	(1 кг) : $(1\ м^3)$

Величина	Единица измерения	Обозначение единицы	Размер единицы
Удельный объем	кубический метр на килограмм	м³/кг	(1 м³) : (1 кг)
Объемный расход	кубический метр в секунду	м³/с	(1 м³) : (1 с)
Сила; вес	ньютон	Н	(1 кг) · (1 м) : (1 с²)
Удельный вес	ньютон на кубический метр	Н/м³	(1 Н) : (1 м³)
Работа; энергия; количество теплоты	джоуль	Дж	(1 Н) · (1 м)
Мощность	ватт	Вт	(1 Дж) : (1 с)
Давление; механическое напряжение	паскаль	Па	(1 Н) : (1 м²)
Кинематическая вязкость	квадратный метр на секунду	м²/с	(1 м²) : (1 с)
Теплоемкость системы	джоуль на кельвин	Дж/К	(1 Дж) : (1 К)
Температурный градиент	кельвин на метр	К/м	(1 К) : (1 м)
Коэффициент теплопередачи	ватт на квадратный метр-кельвин	Вт/(м² · К)	(1 Вт) : [(1 м²) × × (1 К)]
Теплопроводность	ватт на метр-кельвин	Вт/(м · К)	(1 Вт) : [(1 м) × × (1 К)]
Активная мощность	ватт	Вт	(1 Дж) : (1 с)
Полная мощность	вольт-ампер	В · А	(1 В) · (1 А)
Реактивная мощность	вар	вар	(1 В) · (1 А)
Количество электричества	кулон	Кл	(1 А) · (1 с)
Плотность электрического тока	ампер на квадратный метр	А/м²	(1 А) : (1 м²)
Электрическое смещение	кулон на квадратный метр	Кл/м²	(1 Кл) : (1 м²)
Разность электрических потенциалов; электрическое напряжение; электродвижущая сила	вольт	В	(1 Вт) : (1 А)
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м	(1 В) : (1 м)
Электрическое сопротивление	ом	Ом	(1 В) : (1 А)
Электрическая проводимость	сименс	См	(1 А) : (1 В)
Удельная электрическая проводимость	сименс на метр	См/м	(1 См) : (1 м)

Величина	Единица измерения	Обозначение единицы	Размер единицы
Электрическая емкость	фарад	Ф	(1 Кл) : (1 В)
Абсолютная диэлектрическая проницаемость	фарад на метр	Ф/м	(1 Ф) : (1 м)
Магнитный поток	вебер	Вб	(1 Кл) · (1 Ом)
Магнитная индукция; плотность магнитного потока	тесла	Т	(1 Вб) : (1 м²)
Индуктивность; взаимная индуктивность	генри	Г	(1 Вб) : (1 А)
Магнитодвижущая сила; разность магнитных потенциалов	ампер	А	(1 А)
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	А/м	(1 А) : (1 м)
Магнитное сопротивление	ампер на вебер	А/Вб	(1 А) : (1 Вб)
Абсолютная магнитная проницаемость	генри на метр	Г/м	(1 Г) : (1 м)

Таблица 1.2. **Приставки для образования кратных и дольных единиц**

Приставка	Обозначение		Множитель
	русское	международное	
тера	Т	T	10^{12}
гига	Г	G	10^{9}
мега	М	M	10^{6}
кило	к	k	10^{3}
гекто	г	h	10^{2}
дека	да	da	10
деци	д	d	10^{-1}
санти	с	c	10^{-2}
милли	м	m	10^{-3}
микро	мк	μ	10^{-6}
нано	н	n	10^{-9}
пико	п	p	10^{-12}
фемто	ф	f	10^{-15}
атто	а	a	10^{-18}

Таблица I.3. **Пересчетные коэффициенты некоторых единиц измерения**

Метрические (внесистемные) единицы	Единицы СИ	Метрические (внесистемные) единицы	Единицы СИ
Единицы длины		*Единицы частоты*	
Микрон (мк)	1 микрометр (мкм) = 10^{-6} м	Оборот в минуту (об/мин)	1/60 Гц
Ангстрем (Å)	0,1 нм = $1 \cdot 10^{-10}$ м	Килогерц (кГц)	1000 Гц
		Период в секунду; Колебание в секунду; Оборот в секунду	1 Гц
Единицы площади			
Гектар (га)	10^4 м²		
Единицы объема		*Единицы угловой скорости*	
Литр (л)	$1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ м³ = = 1,000028 дм³	Оборот в минуту (об/мин)	$\frac{\pi}{30}$ рад/с
		Оборот в секунду (об/с)	2π рад/с
		Градус в секунду (°/с)	$\frac{\pi}{180}$ рад/с
Единицы массы			
Тонна (т)	10^3 кг		
Центнер (ц)	100 кг		
Единицы времени		*Единицы линейной скорости*	
Сутки (сут)	86400 с	1 м/мин	0,0167 м/с
Час (ч)	3600 с	1 м/ч	$278 \cdot 10^{-6}$ м/с
Минута (мин)	60 с	1 км/ч	0,278 м/с
		1 см/с	0,01 м/с
Единицы плоского угла		*Единицы линейного ускорения*	
Градус (°)	$\frac{\pi}{180}$ рад = = 0,0174533 рад	1 см/с²	0,01 м/с²
		Единицы плотности	
Минута (′)	$\frac{\pi}{108} 10^{-2}$ рад = = $2{,}90888 \cdot 10^{-4}$ рад	1 т/м³; 1 кг/дм³; 1 г/см³	1000 кг/м³
Секунда (″)	$\frac{\pi}{648} 10^{-3}$ рад = = $4{,}84814 \cdot 10^{-6}$ рад	1 кг · с²/м⁴	9,80665 кг/м³
		1 кг/л	999,972 кг/м³
		1 г/мл	999,972 кг/м³
Оборот (об)	2π рад = = 6,283185 рад	*Единицы температуры*	
Прямой угол	$\frac{\pi}{2}$ рад = = 1,5708 рад	1 °С	1 K

Метрические (внесистемные) единицы	Единицы СИ
Единицы массового расхода	
1 кг/ч	$278 \cdot 10^{-6}$ кг/с
1 кг/мин	$16{,}67 \cdot 10^{-3}$ кг/с
1 т/ч	0,278 кг/с
1 г/с	10^{-3} кг/с
Единицы объемного расхода	
1 $м^3$/ч	$278 \cdot 10^{-6}$ $м^3$/с
1 л/ч	$278 \cdot 10^{-9}$ $м^3$/с
1 л/мин	$16{,}67 \cdot 10^{-6}$ $м^3$/с
1 $дм^3$/с	10^{-3} $м^3$/с
1 л/с	$1{,}000028 \cdot 10^{-3}$ $м^3$/с
1 $см^3$/с	10^{-6} $м^3$/с
Единицы силы	
1 кгс	9,80665 Н
1 тс	9806,65 Н
1 дина (дин)	10^{-5} Н
Единицы давления (механического напряжения)	
1 бар	10^5 Па
1 дин/$см^2$	0,1 Па
1 кгс/$см^2$	98066,5 Па
1 ат (атмосфера техническая)	98066,5 Па
1 атм (атмосфера физическая)	101325 Па
1 кгс/$м^2$	9,80665 Па
1 мм рт. ст.	133,322 Па
1 мм вод. ст.	9,80665 Па

Метрические (внесистемные) единицы	Единицы СИ
Единицы работы (энергии)	
1 кгс · м	9,80665 Дж
1 эрг	10^{-7} Дж
1 вт · ч	3600 Дж
1 квт · ч	$3{,}6 \cdot 10^6$ Дж
1 кал	4,1868 Дж
1 ккал	4186,8 Дж
Единицы мощности	
1 кгс · м/с	9,80665 Вт
1 л. с.	735,499 Вт
1 эрг/с	10^{-7} Вт
1 ккал/ч	1,163 Вт
1 кал/с	4,1868 Вт
1 квт	1000 Вт
Электрические и магнитные единицы	
1 в · с	1 Вб
1 в · ч	3600 Вб
1 в/см	100 В/м
1 а · ч	3600 Кл
1 мкс (максвелл)	10^{-8} Вб
1 гс (гаусс)	10^{-4} Т
1 гб (гильберт)	$\frac{10}{4\pi}$ А
1 э (эрстед)	$\frac{1}{4\pi} 10^3$ А/м
1 а/см	100 А/м
1 ом (магнитный)	$\frac{10^9}{4\pi}$ А/Вб
1 ком	10^3 Ом

Таблица 1.4. **Характеристика электроизоляционных материалов**

Материал	Электрическая прочность, кВ/мм	Относительная диэлектрическая проницаемость
Асбестовая бумага	2—5	. . .
Асбобакелит	6—14	20—25
Асфальт естественный	13—16	2—4
Базальт	3—6	9—12
Бакелитовые цилиндры	10—15	3,8—5
Бетон сухой	. . .	. . .
Бумага кабельная сухая	6—9	2,3—3,5
Бумага кабельная, пропитанная маслом	10—25	3,4—3,7
Воздух при температуре 20 °С и давлении 760 мм рт. ст.	3—4	1,0
Воск пчелиный	8—15	2,8—2,9
Гетинакс А и Б	10—15	7—8
Дельта-древесина ДСПЭ-10	5—10	5—6
Дуб парафинированный	4—7	4,5—5
Бук сухой	5—6	3—3,5
Береза сухая	3—5	2—3
Карболит	10—12	3—5
Лакоткань	30—40	3,5—5
Масло трансформаторное	5—18	2—2,5
Миканит	15—30	4,6—6
Мрамор	3,5—5,5	8—10
Оргстекло (метакрил)	17—18	3,2—3,6
Парафин	15—30	2,2—2,3
Пластмасса К-21-22	13	. . .
Пластмасса К-21-14	12	. . .
Полихлорвинил (винипласт) листовой	45	3,1—3,5
Резина листовая	10—15	2,6—3,5
Слюда мусковит	120—200	6—7
Слюда флогопит	60—120	4—5,5
Стеатит	20—30	5,5—6,5
Стекло	10—40	5,5—10
Текстолит А и Б	2—6	. . .
Тиконд	15—20	60—80
Фарфор	18—25	5—7,5
Фибра	4—11	3,5
Шифер	1,5—3	4—16
Церезин	15	2,1—2,3
Эбонит	8—10	2,4—4,5
Электрокартон ЭМ	8—10	2,5—4,0

tg δ при $f = 50$ Гц и $t = 20$ °C	Удельное электрическое сопротивление, Ом · см, при $t = 20$ °C	Влагопоглощаемость за 24 ч, %	Допустимая рабочая температура, °C	Плотность, г/см³
. . .	10^{6}	. . .	450	1,0—1,4
30—60	10^{10}	0,5	. . .	1,6—1,8
1—5	10^{14}	. . .	. . .	1,1—1,3
1,7—2	. . .	. . .	. . .	2,7—3,2
0,5—1,7	10^{10}	0,5—1,6	120	1,05—1,24
. . .	. . .	. . .	. . .	1,8—2,4
. . .	10^{13}	. . .	. . .	0,8
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
. . .	. . .	. . .	. . .	0,00121
. . .	10^{13}	. . .	. . .	0,96
4—10	10^{9}	2,8	150	1,3—1,4
3,5	10^{11}	2	200	1,25—1,4
. . .	10^{12}	. . .	. . .	0,76
. . .	10^{11}	. . .	. . .	0,73
. . .	10^{10}	. . .	. . .	0,64
. . .	10^{11}	. . .	120	1,1—1,2
. . .	10^{11}	0,08	105	1,1—1,3
0,2—1	10^{12}	. . .	95	0,85—0,89
. . .	10^{15}	. . .	. . .	2,2
0,5—10	10^{9}	0,2	100—200	2,7
5	10^{13}	0,09	60	1,18
. . .	10^{15}	. . .	. . .	0,9—0,93
9	10^{12}	0,25	. . .	1,4
1,5	10^{12}	0,2	. . .	1,4
1,5—2	10^{12}	0,01	65	1,38
0,5—2	10^{14}	. . .	. . .	1,3—1,8
0,01—0,02	10^{14}	0	500	2,8—3,2
0,1—0,2	10^{12}	0	900	2,5—2,7
0,2	10^{15}	0	. . .	2,6—2,8
0,1—0,5	10^{11}	0	. . .	2,5—2,7
. . .	10^{10}	2—2,5	120—130	1,3—1,4
0,2	10^{14}	. . .	. . .	3,8—3,9
0,7—2,5	10^{14}	0—0,05	. . .	2,3—2,7
. . .	10^{10}	. . .	. . .	1,2—1,4
. . .	10^{7}	0,6	200	2,7—2,9
. . .	10^{16}	. . .	. . .	0,8—0,9
1—2	10^{17}	. . .	60	1,15—1,3
. . .	10^{9}	. . .	90	0,9—1,1

Таблица 1.5. Свойства проводниковых материалов

Материал	Удельное сопротивление, Ом · мм²/м, при t = 20 °C	Температурный коэффициент		Температура плавления, ° С	Плотность, г/см³
		электрического сопротивления, Ом · $К^{-1}$	линейного расширения, м · $К^{-1}$		
Алдрей	0,031—0,035	0,004	. . .	1000	2,8
Алюминий	0,029	0,0042	$0,024 \cdot 10^{-3}$	659	2,7
Бронза	0,021—0,04	0,004	$0,018 \cdot 10^{-3}$	900	8,8—8,9
Вольфрам	0,056	0,0046	$0,0045 \cdot 10^{-3}$	3500	18,7
Висмут	1,2	0,004	$0,013 \cdot 10^{-3}$	271	9,8
Графит	13,5	0,008	. . .	. . .	1,9—2,3
Кадмий	0,076	0,004	$0,029 \cdot 10^{-3}$	321	8,6
Константан	0,4—0,51	0,00005	$0,015 \cdot 10^{-3}$	1200	8,8
Латунь	0,05	0,002	$0,018 \cdot 10^{-3}$	960	8,4—8,7
Медь	0,0175	0,004	$0,017 \cdot 10^{-3}$	1083	8,9
Магний	0,04	0,0038	$0,026 \cdot 10^{-3}$	650	1,74
Манганин	0,42	0,000015	. . .	960	8,14
Никель	0,09—0,12	0,006	$0,013 \cdot 10^{-3}$	1452	8,8
Никелин	0,4—0,44	0,0003	. . .	1060	11,2
Нихром	1,1	0,0003	. .	1375	8,2
Олово	0,12	0,0044	$0,026 \cdot 10^{-3}$	232	7,3
Платина	0,09—0,11	0,00247	$0,009 \cdot 10^{-3}$	1770	21,2
Ртуть	0,95	0,0027	$0,09 \cdot 10^{-3}$	—38,9	13,8
Серебро	0,016	0,004	$0,019 \cdot 10^{-3}$	961	10,5
Сталь	0,13—0,3	0,005	$0,012 \cdot 10^{-3}$	1500	7,85
Свинец	0,217	0,00411	$0,029 \cdot 10^{-3}$	327	11,3
Сурьма	0,41	0,0037	. . .	630	6,67
Фехраль	1,2	0,0002	. . .	1450	7,6
Хромель	1,3	0,00004	. . .	1500	7,1
Цинк	0,06	0,0039	$0,029 \cdot 10^{-3}$	419	7,1
Чугун	0,5	0,0009	$0,0104 \cdot 10^{-3}$	1200	7,2

Некоторые формулы, встречающиеся при электротехнических расчетах

Сопротивление проводника омическое (при постоянном токе):

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{l}{\gamma S} \text{ [Ом]},$$

где ρ — удельное сопротивление проводника, Ом · мм²/м; l — длина проводника, м; S — сечение проводника, мм²; γ — удельная проводимость, $\gamma = \frac{1}{\rho}$ [См/м] (для меди $\gamma_м = 57 \cdot 10^6$, для алюминия $\gamma_а = 34 \cdot 10^6$, для железа $\gamma_ж = 9 \cdot 10^6$ См/м).

Сечение голого круглого провода:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}7854 d^2 \text{ [мм}^2\text{]},$$

где d — диаметр провода, мм.

Сопротивление проводника при температуре, отличной от 20 °C:

$$R_t = R_0 + R_0\alpha (t - t_0)$$

или, что то же,

$$R_t = R_0 (1 + \alpha\Delta t),$$

где R_0— сопротивление проводника при t_0 = 20 °C; α — температурный коэффициент электрического сопротивления (для меди $\alpha_м$= 0,004, для алюминия $\alpha_а$= 0,0042).

При последовательном соединении приемников:

общее сопротивление цепи

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n \text{ [Ом]},$$

где R_1, R_2, . . . , R_n — сопротивление отдельных приемников;

общее напряжение сети

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n \text{ [В]},$$

где U_1, U_2, . . . , U_n — потери напряжения на отдельных приемниках.

Параллельное соединение приемников:

общее сопротивление цепи:

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n}} \text{ [Ом]},$$

где R_1, R_2, . . . , R_n — сопротивления отдельных приемников;

общий ток цепи

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \cdots + I_n \text{ [А]},$$

где I_1, I_2, . . . , I_n — токи, потребляемые отдельными приемниками.

Распределение токов при параллельном соединении между отдельными приемниками обратно пропорционально их сопротивлениям:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Индуктивное (реактивное) сопротивление:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \text{ [Ом]},$$

где ω — угловая частота (при f = 50 Гц ω = 314 рад/с); f — частота, Гц; L — индуктивность, Г.

Емкостное (реактивное) сопротивление:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \text{ [Ом]},$$

где C — емкость, Ф.

Полное реактивное сопротивление:

$$X = X_L - X_C.$$

Полное сопротивление переменному току:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \text{ [Ом]},$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \text{ [Ом]}.$$

Индуктивность (коэффициент самоиндукции):
однослойная катушка без стали

$$L = \frac{3{,}95 r^2 n^2 k}{h} 10^{-8} \text{ [Г]},$$

где r — средний радиус витка, см; n — число витков; k — коэффициент $\left(\text{при } \frac{h}{r} = 3 \div 6\ k = 0{,}75;\ \text{при } \frac{h}{r} = 1 \div 3\ k = 0{,}5 \div 0{,}7;\ \text{при } \frac{h}{r} = 1 \div 0{,}5\ k = 0{,}3 \div 3{,}5\right)$; h — высота (длина) катушки, см;
многослойная катушка без стали

$$L = \frac{0{,}08 D^2 n^2}{3D + 9h + 10c} 10^{-8} \text{ [Г]},$$

где D — средний диаметр витка, см; c — толщина намотки катушки, см.

Индуктивное сопротивление на фазу однофазной или трехфазной воздушной линии:

$$X = 0{,}144 \lg \frac{a}{r} + 0{,}016 \text{ [Ом/км]},$$

где a — расстояние между осями проводов, см; r — радиус поперечного сечения провода, см.

В ориентировочных расчетах можно принимать такие значения величины X: при напряжении до 6 кВ — 0,35 Ом/км, при напряжении больше 6 кВ — 0,4 Ом/км. В расчетах кабельных линий, если напряжение кабеля до 6 кВ, $X = 0{,}07$, если напряжение 6—10 кВ, $X = 0{,}08$ Ом/км.

Индуктивность трехфазной линии (без учета транспозиции):

$$L = \left(4{,}6 \lg \frac{D_{ср}}{d} + 0{,}5\mu\right) 10^{-4} \text{ [Г/км]}.$$

Здесь d — диаметр провода, см; $D_{ср}$ — среднее геометрическое расстояние между проводами линии, см,

$$D_{ср} = \sqrt[3]{a_{1-2} a_{2-3} a_{1-3}},$$

где a_{1-2}, a_{2-3}, a_{1-3} — расстояния, см, между проводами 1 и 2; 2 и 3; 3 и 1.

Реактивная мощность конденсатора:

$$Q = U^2 \omega C \text{ [вар]},$$

где U — напряжение сети, В; C — емкость, Ф

Емкость конденсатора:

$$C = \frac{10^6}{2\pi f} \cdot \frac{I_C}{U} \text{ [мкФ]},$$

где I_C — ток емкости, А; U — напряжение, В.

Общая емкость конденсаторов:
при последовательном соединении

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots + \frac{1}{C_n};$$

при параллельном соединении

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots + C_n,$$

где C_1, C_2, ..., C_n— емкость отдельных конденсаторов, включенных в цепь.

Емкость трехфазной линии:

$$C_0 = \frac{24 \cdot 10^{-9}}{\lg \frac{D_{\text{ср}}}{r}} \ [\text{Ф/км}],$$

где r — радиус сечения провода (жилы), см.

Емкостный ток при однополюсном замыкании на землю:

$$I_з = 1{,}73\omega C_0 l U \cdot 10^{-6} \cong \frac{2{,}6lU}{1000} \ [\text{А}],$$

где l — общая протяженность линии, км; C_0— частичная емкость провода относительно земли, мкФ/км; U — напряжение линии, В; $\omega = 2\pi f = 314$.

Для воздушных линий: при напряжении 6 кВ $I_з = 1{,}5$ А на 100 км; при напряжении 10 кВ $I_з = 2{,}5$ А на 100 км; при напряжении 30 кВ $I_з = 10$ А на 100 км.

Для кабельных линий:

при напряжении 6 кВ

$$I_з = \frac{95 + 2{,}84S}{2200 + 6{,}0S} U_{\text{ном}} \ [\text{А/км}];$$

при напряжении 10 кВ

$$I_з = \frac{95 + 1{,}44S}{2200 + 0{,}23S} U_{\text{ном}} \ [\text{А/км}],$$

где S — сечение кабеля, мм²; $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение кабеля, кВ.

Закон Ома для цепи переменного тока с реактивным сопротивлением:

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Количество тепла, выделяемого при протекании тока:

$$Q = I^2Rt \ [\text{Дж}],$$

где I — ток, А; R — сопротивление цепи, Ом; t — время прохождения тока, с.

Закон электромагнитной индукции для синусоидального тока:

$$E = 4{,}44fwBS \ [\text{В}],$$

где E — наведенная ЭДС, В; f — частота, Гц; w — число витков обмотки; B — индукция магнитного поля в стали, Т; S — сечение магнитопровода, м².

Частота тока:

$$f = \frac{pn}{60} \ [\text{Гц}],$$

где p — число пар полюсов генератора; n — частота вращения, об/мин.

Подъемная сила электромагнита:

$$P = 3978B^2S \cdot 10^2 \text{ [Н]},$$

где B — магнитная индукция в воздушном зазоре, Т; S — сечение стального сердечника, м².

Ток в цепи переменного тока:

$$I = \sqrt{I_а^2 + I_р^2} \text{ [А]},$$

где $I_а$ — активная составляющая тока; $I_а = I \cos\varphi$; $I_р$ — реактивная составляющая тока, $I_р = I \sin\varphi$.

Напряжение в цепи переменного тока:

$$U = \sqrt{U_а^2 + U_р^2} \text{ [В]},$$

где $U_а$ и $U_р$ — активная и реактивная составляющие напряжения, В.

Соотношения токов и напряжений в трехфазной системе:

соединение в звезду

$$I_л = I_ф; \; U_л = 1{,}73U_ф;$$

соединение в треугольник

$$I_л = 1{,}73I_ф; \; U_л = U_ф,$$

где $I_л$ — ток линейный; $I_ф$ — ток фазный; $U_л$ — напряжение линейное, $U_ф$ — напряжение фазное.

Мощность постоянного тока:

$$P = UI \text{ [Вт]},$$

где U — напряжение, В; I — ток цепи, А.

Мощность и энергия переменного однофазного тока:

активная мощность

$$P = UI\cos\varphi \text{ [Вт]};$$

реактивная мощность

$$Q = UI\sin\varphi \text{ [вар]};$$

полная (кажущаяся) мощность

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ [В} \cdot \text{А]};$$

активная энергия

$$W = 3600Pt \text{ [Дж]};$$

реактивная энергия

$$W_р = Qt \text{ [вар} \cdot \text{ч]},$$

где U — напряжение цепи, В; I — ток цепи, А; φ — угол сдвига фаз; t — время протекания тока, ч.

Мощность и энергия переменного трехфазного тока:

активная мощность

$$P = \sqrt{3}\,UI\cos\varphi \text{ [Вт]};$$

реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3} UI \sin \varphi \text{ [вар]};$$

полная (кажущаяся) мощность

$$S = \sqrt{3} UI \text{ [В} \cdot \text{А]};$$

активная энергия

$$W = 3600Pt \text{ [Дж]};$$

реактивная энергия

$$W_{\text{р}} = Qt \text{ [вар} \cdot \text{ч]},$$

где U — линейное (междуфазное) напряжение, В; I — линейный ток, А; t — время протекания тока, ч.

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_{\text{а}}}{U} = \frac{I_{\text{а}}}{I} = \frac{P}{S}; \ \text{tg} \varphi = \frac{W_{\text{р}}}{W}.$$

Глава II

ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Измерения при испытательно-наладочных работах — одна из наиболее существенных операций, от правильного выполнения которой зависит успех всей работы. При наладке электроустановок измеряют такие величины: напряжение, ток, мощность, угол сдвига фаз между переменным током и напряжением, сопротивление постоянному и переменному току, время протекания процессов, температуру, частоту вращения, вибрацию и др.

Согласно ГОСТ 16263—70 различают четыре вида измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные. При прямых измерениях искомую величину получают в результате эксперимента путем сравнения ее с эталоном (мерой) или с помощью прибора, проградуированного в единицах измерения (измерение длины метром, тока — амперметром). При косвенных измерениях искомую величину получают в результате вычисления по формуле (уравнению связи), в которую входят величины, определенные путем прямых измерений (измерение сопротивления постоянному току методом вольтметра—амперметра; уравнение связи $R=\frac{U}{I}$). При совокупных и совместных измерениях искомые величины (обычно несколько) находят путем решения системы уравнений связи.

В зависимости от применяемых технических средств различают методы непосредственной оценки (по шкале прибора или эталонной меры) и сравнения (с мерой, не имеющей шкалы). Частными случаями метода сравнения являются: метод противопоставления (чаще — нулевой метод), примером которого может служить измерение сопротивления уравновешенным мостом или измерение ЭДС потенциометром; дифференциальный метод, при котором измеряется разница между искомой величиной и величиной, воспроизводимой мерой; метод замещения, при котором измеряемую величину замещают величиной, воспроизводимой мерой (при этом не должны изменяться показания измерительного прибора); метод совпадения, например стробоскопический метод измерения частоты вращения.

Наиболее просты и удобны методы непосредственной оценки, однако погрешность измерения этими методами в наладочной практике составляет 0,2—0,5 %. В некоторых случаях пользуются нулевым методом, погрешность при котором может быть 0,001 %.

Погрешность измерения

Абсолютной погрешностью измерения ΔA называют разность между найденным значением измеряемой величины $A_{из}$ и действительным ее значением $A_д$:

$$\Delta A = A_{из} - A_д.$$

Абсолютной поправкой измерения называют величину δA, равную абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком:

$$\delta A = -\Delta A.$$

Действительное значение измеряемой величины при известной поправке измерения определяется так:

$$A_д = A_{из} + \delta A.$$

Относительной погрешностью измерения ε называют отношение абсолютной погрешности ΔA к действительному значению измеряемой величины $A_д$:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_д} 100 = \frac{A_{из} - A_д}{A_д} 100\,[\%],$$

или

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{из} - \Delta A} 100\,[\%].$$

Приведенной относительной погрешностью измерительного прибора $\varepsilon_{пр}$ называют отношение абсолютной погрешности к разнице между верхним $A_в$ и нижним $A_н$ пределами измерения прибора:

$$\varepsilon_{пр} = \frac{\Delta A}{A_в - A_н} 100\,[\%].$$

На паспортной табличке или на шкале измерительного прибора указывают его класс, который определяет максимально допустимую величину $\varepsilon_{пр}$. ГОСТ 8.401—80 предусматривает следующие классы точности электроизмерительных приборов: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 и др. Для соблюдения точности измерения в пределах класса необходимо следить, чтобы условия работы прибора соответствовали требованиям ГОСТ или ТУ (температура окружающего воздуха должна быть близка к 20 °С, частота тока равна нормальной для прибора; внешние магнитные поля и кратковременные перегрузки не должны превышать допустимых значений и т. п.). На шкале прибора приводятся также условные обозначения системы прибора, рода измеряемого тока, испытательного напряжения и других параметров (табл. II.1 и II.2).

Таблица 11.1. **Обозначение системы прибора**

Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический логометр с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
Магнитоэлектрический логометр с подвижным магнитом	
Электромагнитный прибор	
Электромагнитный логометр	
Электромагнитный поляризованный прибор	
Электродинамический прибор	
Электродинамический логометр	
Электростатический прибор	
Ферродинамический прибор	

Ферродинамический логометр	
Индукционный прибор	
Индукционный логометр	
Магнитоиндукционный прибор	
Вибрационный прибор (язычковый)	
Тепловой прибор (с нагреваемой проволокой)	
Биметаллический прибор	
Термопреобразователь изолированный	
Термопреобразователь неизолированный	
Выпрямитель полупроводниковый	
Выпрямитель электромеханический	
Электронный преобразователь	

Преобразователь вибрационно-импульсный	
Компенсационный преобразователь	
Термоэлектрический прибор (с изолированным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)	
Вибрационно-импульсный прибор (с вибрационно-импульсным преобразователем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)	
Выпрямительный прибор (с полупроводниковым выпрямителем и магнитоэлектрическим измерительным механизмом)	
Выпрямительный прибор (с полупроводниковым выпрямителем и измерительным механизмом с подвижным магнитом)	
Электронный прибор (с электростатическим измерительным механизмом)	
Магнитоэлектрический прибор первой категории защищенности от магнитных влияний	
Электростатический прибор первой категории защищенности от электрических полей	

Таблица 11.2. **Условные обозначения на шкале прибора**

Род тока	Постоянный	—
	Переменный однофазный	~
	Постоянный и переменный	[знак: черта над волнистой линией]
	Трехфазный (общее назначение)	[знак: три волнистые линии]
	Трехфазный при неравномерной нагрузке фаз	[знак: три волнистые линии, перечёркнутые]
Положение прибора	Горизонтальное положение шкалы	⊓
	Вертикальное положение шкалы	⊥
	Наклонное положение шкалы под определенным углом к горизонту (например, 30 °)	∠30°
	Направление ориентировки прибора в земном магнитном поле	N ↑ S
Обозначение группы прибора (например, Б)		Б ⊓
Класс точности прибора	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах) от длины шкалы, т. е. в линейных единицах (например, 1,0)	1,0 ∨

Класс точности прибора	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах от диапазона измерения) (например, 1,5)	1,5
	То же. Допускаемое условное обозначение	(1,5)
	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах от конечного значения рабочей части шкалы) для приборов с безнулевой шкалой (например, 1,5)	$\overline{1,5}$
	Класс точности при нормировании погрешности (в процентах от данного показания) (например, 0,05)	(0,05)
Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением (например, 7 кВ)		☆ 7
См. дополнительные указания в паспорте и инструкции по эксплуатации		⚠

Измерение тока и напряжения

Напряжения и токи, которые необходимо измерять при испытательно-наладочных работах, весьма разнообразны по величине, роду тока, а иногда и частоте; разнообразны также условия проведения этих измерений и требования к их точности.

Для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока в основном используются приборы магнитоэлектрической системы, обладающие высокими точностью, чувствительностью и перегрузочной способностью. В отдельных случаях могут быть использованы приборы электромагнитной, электродинамической и детекторной систем.

В цепях переменного тока промышленной частоты ток и напряжение измеряют с помощью приборов электромагнитной, электродинамической и детекторной систем.

Приборы электромагнитной системы прочны, недороги и обладают достаточной для наладочных работ точностью (класс 0,5—2,5). Приборы этой системы выпускаются в защищенном исполнении, менее подверженном влиянию внешних электромагнитных полей.

Приборы электродинамической системы обладают достаточно высокой точностью (класс 0,2—0,5) и широко применяются в практике наладочных работ наряду с электромагнитными приборами.

Приборы детекторной системы имеют значительную погрешность (1,5—4 %), но они универсальны, их внутреннее сопротивление при

измерении напряжения достаточно велико, так что ими широко пользуются в практике наладочных работ. Если форма кривой напряжения или тока в цепях переменного тока отличается от синусоиды, то показания приборов детекторной системы значительно отличаются от действительных значений измеряемой величины, поэтому пользоваться такими приборами не рекомендуется.

При измерениях в выпрямительных схемах приборы магнитоэлектрической системы показывают среднее значение величины, а приборы электромагнитной системы — эффективное значение. Значительное содержание в выпрямленном напряжении высших гармоник вносит погрешности в измерения эффективных значений напряжения и тока. Наилучшими приборами для измерения эффективных значений тока и напряжения в этих случаях следует считать приборы термоэлектрической системы. Показания их не зависят от частоты, благодаря чему приборы термоэлектрической системы пригодны для измерения тока и напряжения в цепях с высокой частотой.

Приборы электронной системы используются для измерения в схемах с электронно-ионной аппаратурой и в других случаях, когда требуется очень высокое внутреннее сопротивление прибора.

Для измерения высоких напряжений постоянного и переменного тока при испытаниях оборудования повышенным напряжением используют приборы электростатической системы.

Основные технические характеристики некоторых амперметров и вольтметров, выпускаемых промышленностью и используемых в наладочных работах, приведены в табл. II.3.

Если измерения не требуют большой точности (измерения при фазировке, измерения напряжений и токов срабатывания промежуточных реле, электромагнитов приводов, магнитных пускателей, некоторые измерения, связанные с испытаниями оборудования, за исключением генераторов и крупных трансформаторов), могут использоваться приборы классов 1—1,5, а в некоторых случаях — и класса 2,5. При наладке релейных защит для измерений используются обычно приборы класса 0,5. Наладка генераторов, крупных силовых трансформаторов, двигателей и другого подобного оборудования требует измерений с помощью приборов класса 0,5 и в некоторых случаях — класса 0,2.

Внутреннее сопротивление вольтметра должно быть достаточно большим. Так, в вольтметрах типа Э515/3, широко применяемых в наладочной практике, сопротивление составляет 133 Ом/В. Для измерений в цепях маломощных устройств: фильтров, земляных и дифференциальных защит должны применяться вольтметры с внутренним сопротивлением 1000—2000 Ом/В. При измерениях в схемах с электронно-ионной аппаратурой следует применять вольтметры с внутренним сопротивлением 5000—10 000 Ом/В.

Для измерения малых значений напряжений постоянного тока (особенно в маломощных цепях) могут быть использованы переносные потенциометры.

Для увеличения пределов измеряемого напряжения применяют добавочные сопротивления (рис. II.1), а также трансформаторы напряжения (ТН) переменного тока (табл. II.4).

Напряжение можно определить по следующим формулам:

при использовании добавочных сопротивлений

$$U = U_{в} \frac{R_{в} + R_{д}}{R_{в}};$$

при использовании измерительных трансформаторов

$$U = U_{в} K_{т.н}.$$

Таблица II.3. **Технические характеристики приборов для измерения тока и напряжения**

Прибор	Тип	Система	Класс точности	Пределы измерения	Примечания
Вольтметр	М45М	Магнитоэлектрическая	1,0	3; 7,5; 15; 30; 75; 150; 300; 450; 600 В	Потребляемый ток 3 мА
Миллиамперметр	М45М	То же	1,0	1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150 мА	Падение напряжения 75 мВ
Амперметр (измеритель на 75 мВ)	М45М	» »	1,0	0,3; 0,75; 1,5; 7,5; 15; 30; 75; 150; 500; 1500 А	С наружным шунтом 75РИ или 75ШС
Милливольтметр	М109	» »	0,5	10; 45; 50; 75; 150; 200; 1000; 3000 мВ	Потребляемый ток 0,5—3 мА
Вольтметр	М109	» »	0,5	1; 3; 5; 7,5; 15; 20; 30; 75; 100; 150; 300; 500; 600 В	Потребляемый ток 0,01—3 мА
Микроамперметр	М109	» »	0,5	10; 50; 100; 200; 500; 1000 мкА	Падение напряжения 9—480 мВ
Миллиамперметр	М109	» »	0,5	2; 10; 50; 200 мА	Падение напряжения 27—270 мВ
Амперметр	М109	» »	0,5	1; 2; 5; 10 А	Падение напряжения 55—65 мВ
Вольтметр	М250	» »	0,5	3; 5; 200; 400 В	Потребляемый ток 4 мА
Милливольтмикроамперметр	М1200	» »	0,5	3 мВ — 750 В; 3 мкА — 7,5 мА	Падение напряжения 3—10 мВ. Потребляемый ток 0,3—75 мкА
Микроамперметр-вольтметр	М1201	» »	0,5	0,3—750 мкА; 3—750 В	Падение напряжения 3—33 мВ. Потребляемый ток 0,3—75 мкА
Милливольтметр	М1202	» »	1,0	0,3—750 мВ	Потребляемый ток 15 мкА
Вольтметр	М2004	» »	0,2	1—300 В	Потребляемый ток 10 мкА

Микроамперметр	М2005	» »	0,2	10—1000 мкА	Падение напряжения 63—624 мВ
Милливольтмиллиамперметр	М2015	» »	0,2	0,75—150 мА; 0,3—30 А; 45 мВ; 3 В	Падение напряжения 27—230 мВ Потребляемый ток 1 мА
Милливольтметр	М2016	» »	0,2	45; 75 мВ; 3 В	Потребляемый ток 0,5 мА
Милливольтмиллиамперметр	М2017	» »	0,2	3 мА; 45 мВ—650 В	Падение напряжения 68 мВ. Потребляемый ток 1 мА
	М2018	» »	0,2	0,075 мА — 30 А; 15 мВ — 600 В	Падение напряжения 20—300 мВ. Потребляемый ток 0,25—1 мА
	М2020	» »	0,2	0,15—60 мА; 15—3000 мВ	Падение напряжения 15—75 мВ. Потребляемый ток 0,15 мА
	М2038	» »	0,5	750 мВ—600 В; 300 мА — 30 А	Падение напряжения 20—300 мВ. Потребляемый ток 0,25—1 мА
Миллиамперметр	Э513/1	Электромагнитная	0,5	10; 20; 40 мА	Падение напряжения 900—3200 мВ
	Э513/2	»	0,5	25; 50; 100 мА	Падение напряжения 300—1250 мВ
	Э513/3	»	0,5	50; 100; 200 мА	Падение напряжения 140—550 мВ
	Э513/4	»	0,5	250; 500; 1000 мА	Падение напряжения 35—125 мВ
Амперметр	Э514/1	»	0,5	1; 2 А	Падение напряжения 25—35 мВ
	Э514/2	»	0,5	2,5; 5 А	Падение напряжения 25—30 мВ

Продолжение табл. II.3

Прибор	Тип	Система	Класс точности	Пределы измерения	Примечания
Амперметр	Э514/3	Электромагнитная	0,5	5; 10 А	Падение напряжения 40 мВ
Вольтметр	Э515/1	»	0,5	1,5; 3; 7,5; 15 мВ	Потребляемый ток 0,2 А
	Э515/2	»	0,5	7,5; 15; 30; 60 В	Потребляемый ток 25—75 мА
	Э515/3	»	0,5	75; 150; 300; 600 В	Потребляемый ток 7,5 мА
	Э515/4	»	0,5	50; 75; 100; 150 В	Расширенная область частот 40—10 000 Гц
	Д5015/1	Электродинамическая	0,2	7,5—60 В	Потребляемый ток 60 мА
	Э5015/2	То же	0,2	75—600 В	Потребляемый ток 6 мА
Амперметр	Э5017	» »	0,2	0,1—20 А	Падение напряжения 80—150 мВ
Амперметр с трансформатором тока	Т19 И106	Термоэлектрическая	2,5	1—25; 10—40; 20—100 А	Область частот 0,1 кГц—10 МГц
Вольтметр с термопреобразователем	Т19 Т108	То же	1,0	0,2—3; 2—30; 3—50 В	Потребляемый ток 3 мА
Киловольтметр	С100	Электростатическая	1,5	25—75 кВ	Входная емкость 18 пФ
	С196	То же	1,0	2—7,5; 4—15; 8—30 кВ	Входная емкость 15 пФ
Вольтметр	С502	» »	0,5	30—600 В	Область частот 45 Гц — 1 МГц
Киловольтметр	С502	» »	0,5	1; 1,5; 3 кВ	Область частот 45 Гц — 1,5 МГц
Ампервольтметр	Ц4311	Магнитоэлектрическая и детекторная	0,5; 1,0	На постоянном токе 300 мкА — 75 А; 75 мВ—750 В. На переменном токе 3 мА—7,5 А; 0,75—750 В	Входное сопротивление вольтметра 3300 мВ. Область частот 45 Гц—16 кГц

	Ц4312	То же	1,0; 1,5	На постоянном токе 300 мкА — 6 А; 75 мВ — 900 В. На переменном токе 1,5—6 А; 0,3—900 В	Входное сопротивление (до 1,5 В) 3,33 кОм/В. Область частот 45 Гц—10 кГц
Токоизмерительные клещи	Ц90	Детекторная	4,0	15; 30; 75; 300; 600 А	Для измерения силы тока в цепи до 10 кВ без разрыва цепи
	Ц91	»	4,0	10; 25; 100; 250; 500 А; 300; 600 В	То же в цепях до 600 В
Ампервольтметр	АВО-5М1	Магнитоэлектрическая и детекторная	4,0	На постоянном токе 60 мкА — 12 А; 3—6000 В. На переменном токе 0,6 мА — 12 А; 0,6—6000 В	Входное сопротивление 20 кОм/В. Потребляемый ток 50 мкА
	Ц20	То же	4,0	На постоянном токе 0,3—750 мА; 0,6—600 В. На переменном токе 3—600 В	Потребляемый ток 85 мкА
	Ц4315	» »	2,5; 4,0	На постоянном токе 50 мкА — 2,5 А; 75 мВ—1000 В. На переменном токе 0,5 мА — 2,5 А; 1—1000 В	Входное сопротивление 20 кОм/В, 2 кОм/В
	Ц4352	» »	1,0; 1,5	На постоянном токе 300 мкА — 6 А; 75 мВ — 900 В. На переменном токе 1,5 мА — 6 А; 0,3—900 В	Входное сопротивление 0,667 кОм/В
Вольтметр	С75	Электростатическая	1,5	0,3—3 кВ	Частотная применимость 20—80 Гц, 130—10^5 Гц
	С100	То же	1,5	0—25; 0—50; 0—100 кВ	Частотная применимость 45—$5 \cdot 10^5$ Гц
	С502	» »	0,5	0—7,5; 0—15; 0—30 кВ	Частотная применимость 20—50—$4 \cdot 10^6$ Гц

Таблица II.4. **Технические характеристики лабораторных измерительных трансформаторов напряжения**

Тип	Номинальное первичное напряжение, В	Номинальное вторичное напряжение, В	Класс точности	Номинальная мощность, В·А
УТН-1	500, 380, $380/\sqrt{3}$	100, $100/\sqrt{3}$, 100/3	0,2	15; 10; 5
И-50	3000, 6000, 10000, 15000	100 и $100/\sqrt{3}$	0,2	
И-510	3000, 6000, 10000, 15000	$100/\sqrt{3}$, 100, 150	0,1	10; 15

Здесь $U_в$ — напряжение, измеряемое вольтметром, В; $R_в$ и $R_д$ — соответственно внутреннее сопротивление вольтметра и добавочное сопротивление, Ом; $K_{т.н}$ — коэффициент трансформации измерительного ТН.

Измерение силы постоянного тока осуществляется магнитоэлектрическими (реже электромагнитными) амперметрами, а также милливольтметром и шунтом (рис. II.2). Этот последний способ основан на измерении падения напряжения на известном (весьма малом) сопротивлении шунта, включаемого в цепь измеряемого тока. Измеряемый с помощью шунта ток определяется из выражения

$$I = \frac{\Delta U_п}{\Delta U_{ш.ном}} I_{ш.ном},$$

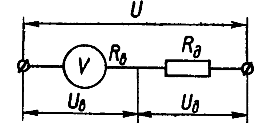


Рис. II.1. Схема включения вольтметра с добавочным сопротивлением.

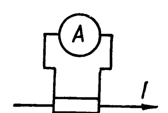


Рис. II.2. Схема включения амперметра постоянного тока с шунтом.

где $\Delta U_п$ — показание милливольтметра, мВ; $\Delta U_{ш.ном}$ — номинальное падение напряжения на шунте; $I_{ш.ном}$ — номинальный ток шунта.

Для подключения прибора к шунту используют калиброванные провода. При измерениях щитовыми приборами в случаях, когда применение калиброванных проводов невозможно из-за значительного удаления щитового прибора от места установки шунта, шкала прибора должна быть отградуирована с учетом сопротивления соединительных проводов, соизмеримого с внутренним сопротивлением прибора. Несоблюдение этого требования может привести к повреждению контролируемого оборудования. Выпускаемые промышленностью щитовые милливольтметры типа М305 предназначены для работы с наружным шунтом, удаленным от прибора на расстояние до 500 м (сечение соединительных проводов 2,5 мм²).

Для расширения пределов измерения амперметров переменного тока (а также при измерениях тока в цепях высокого напряжения)

используются трансформаторы тока (ТТ). Широко распространены в практике наладочных работ универсальные ТТ типа УТТ-5М, УТТ-6М2, И54М, И515М.

Основные технические характеристики измерительных ТТ приведены в табл. II.5.

Таблица II.5. **Технические характеристики лабораторных измерительных трансформаторов тока**

Тип	Номинальный первичный ток, А	Номинальный вторичный ток, А	Класс точности	Номинальное первичное напряжение, В	Номинальное сопротивление нагрузки, Ом, при $\cos\varphi = 0{,}8 \div 1{,}0$
УТТ-5М	15; 50; 100; 150; 200; 600	5	0,2	Не более 660	0,2
УТТ-6М2	100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 800; 1000; 1200; 1500; 2000	5	0,2	Не более 660	0,4
И54М	0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50	5	0,2	660	0,4
И515М	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,1	660	

При использовании ТТ значение измеряемого тока определяется из выражения

$$I = I_п K_{т.т},$$

где $I_п$ — показания прибора; $K_{т.т}$ — коэффициент трансформации ТТ.

Во многих случаях переменный ток можно измерить без разрыва цепи с помощью токоизмерительных клещей, представляющих собой ТТ с раздвижным магнитопроводом и встроенным амперметром. В цепях напряжением до 600 В применяются клещи типа Ц91, в цепях напряжением до 10 кВ — типа Ц90. Косвенно ток I может быть определен по предварительно измеренному сопротивлению R (или Z) и падению напряжения на нем ΔU:

$$I = \frac{\Delta U}{R}, \text{ или } I = \frac{\Delta U}{Z}.$$

При пользовании многопредельным амперметром или вольтметром истинное значение тока I или напряжения U определяют по формулам

$$I = \frac{I_{пр}}{\alpha_{пр}} \alpha = C_1 \alpha,$$

$$U = \frac{U_{пр}}{\alpha_{пр}} \alpha = C_2 \alpha,$$

где $I_{пр}$ и $U_{пр}$ — верхние пределы измерения соответственно тока и напряжения прибора при данном положении переключателя; $\alpha_{пр}$ — число делений шкалы; C_1 и C_2 — цена деления шкалы прибора; α — показания прибора.

Измерение мощности

Мощность в электрических цепях измеряют ваттметрами электродинамической или индукционной системы (последнюю применяют только в цепях переменного тока). На рис. II.3 приведены схемы включения ваттметра для измерения мощности, потребляемой сопротивлением нагрузки $R_{наг}$ (в цепях постоянного и однофазного переменного тока). В цепь напряжения включено добавочное сопротивление $R_д$. Начало токовой обмотки и обмотки напряжения, так же как и в последующих схемах, показано соответственно левой и верхней точками на обмотках ваттметра W; перемена полярности одной из обмоток приводит к отклонению стрелки ваттметра в обратную сторону.

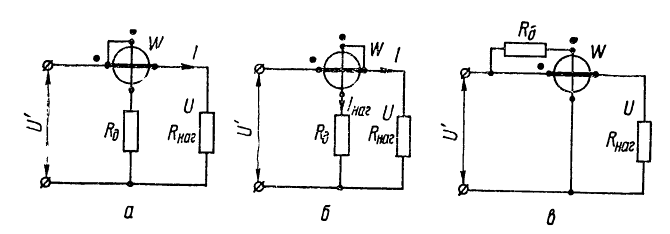


Рис. II.3. Схемы включения ваттметра в цепь постоянного и однофазного переменного тока.

Если включить ваттметр по схеме, приведенной на рис. II.3,*а*, в цепь постоянного тока, то он учтет потребляемую электроприемниками мощность и потери в токовой обмотке ваттметра:

$$P = IU' = I(U + IR_т) = IU + I^2R_т = P_{пр} + P_т,$$

где I и U — соответственно ток и напряжение на нагрузке; U' — напряжение питания; $R_т$ — сопротивление токовой обмотки ваттметра, Ом; $P_{пр}$ и $P_т$ — соответственно потребляемая приемниками мощность и потери мощности в токовой обмотке.

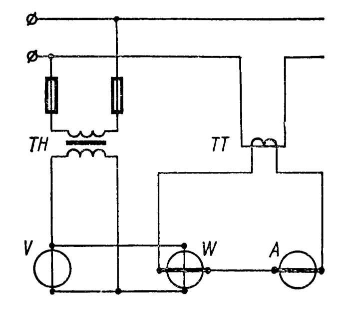


Рис. II.4. Схема включения ваттметра, амперметра и вольтметра через измерительные трансформаторы.

При включении по схеме, приведенной на рис. II.3,*б*, ваттметр учитывает дополнительно потери в обмотке напряжения $P_н$:

$$P = U(I + I_н) = UI + UI_н = P_{пр} + P_н.$$

Схему, приведенную на рис. II.3,*в*, не следует применять, поскольку при таком включении между обмотками тока и напряжения появляется большая разность потенциалов, способная привести к пробою изоляции обмотки и вызвать дополнительную погрешность за счет электростатического взаимодействия обмоток.

Показания ваттметра, включенного в цепь переменного тока, пропорциональны произведению подведенного к нему напряжения U,

тока в токовой обмотке I и $\cos\varphi$:

$$P = C_{\text{вт}} U I \cos\varphi,$$

где $C_{\text{вт}}$ — цена деления ваттметра.

При определении мощности косвенным методом в цепи постоянного тока измеряют ток и напряжение, а в цепи переменного тока — дополнительно, с помощью фазометра, $\cos\varphi$.

Для расширения пределов измерения ваттметра по току и напряжению применяют шунты, добавочные сопротивления и измерительные трансформаторы (рис. II.4). Цена деления ваттметра при пользовании измерительными трансформаторами:

$$C_{\text{изм}} = C_{\text{вт}} K_{\text{т.т}} K_{\text{т.н}} \text{ [Вт/дел]}.$$

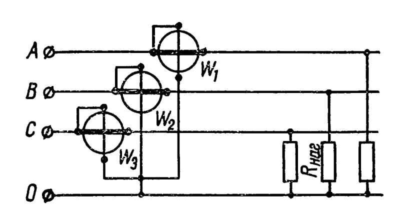


Рис. II.5. Схема включения однофазных ваттметров в четырехпроводную сеть трехфазного тока.

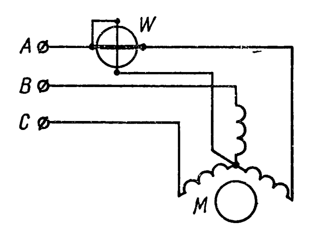


Рис. II.6. Схема измерения мощности в трехфазной трехпроводной сети одним ваттметром.

Цена деления ваттметра при определенном положении переключателей пределов по току и напряжению:

$$C_{\text{вт}} = \frac{U_{\text{пр}} I_{\text{пр}}}{\alpha_{\text{пр}}} \text{ [Вт/дел]},$$

где $U_{\text{пр}}$ и $I_{\text{пр}}$ — верхние пределы ваттметра; $\alpha_{\text{пр}}$ — количество делений шкалы ваттметра.

В процессе испытательно-наладочных работ активную мощность в трехфазных цепях измеряют однофазными ваттметрами. В четырехпроводных сетях (три фазных провода и один нулевой) активную мощность измеряют с помощью трех однофазных ваттметров, включенных в отдельные фазы (рис. II.5). Измеряемую мощность определяют как сумму мощностей всех фаз:

$$P_{\text{а}} = P_A + P_B + P_C.$$

В этом случае не следует пользоваться одним ваттметром, включенным в одну из фаз, так как велика вероятность неравномерности нагрузки, и погрешность измерения может оказаться значительно больше допустимой.

В трехпроводной сети (без нулевого провода) при равномерной нагрузке фаз активную мощность $P_{\text{а}}$ можно определить по одной из следующих схем.

1. Схема с одним ваттметром, включенным на напряжение и ток одной и той же фазы (рис. II.6). В качестве нулевой точки используется

нейтраль приемника или источника электроэнергии (двигателя, генератора и др.). Мощность $P_а$ трех фаз определяют из выражения

$$P_а = 3P_A.$$

Если обмотки приемника или источника электроэнергии соединены в треугольник, мощность одной фазы можно измерить по схеме, приведенной на рис. II.7.

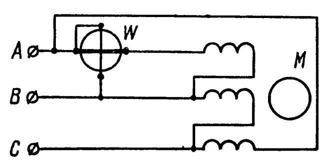


Рис. II.7. Схема измерения мощности одним ваттметром при соединении трехфазного приемника треугольником.

2. В установках, где нулевая точка недоступна, мощность можно измерить одним ваттметром, создав искусственную нулевую точку (рис. II.8) обмоткой напряжения ваттметра и сопротивлениями, подключенными к двум остальным фазам (R_1 и R_2). Сопротивления всех фаз, образующих звезду, должны быть равны между собой:

$$R_1 = R_2 = R_w + R_д,$$

где R_w — сопротивление обмотки напряжения ваттметра; $R_д$ — добавочное сопротивление цепи.

3. Согласно схеме, приведенной на рис. II.9, к ваттметру, токовая обмотка которого включена в одну фазу (A), поочередно с помощью переключателя подводят междуфазные напряжения (AB и AC). По-

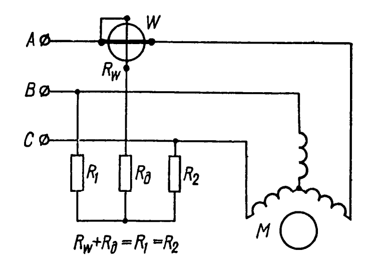


Рис. II.8. Схема измерения мощности одним ваттметром в трехфазной сети с созданием искусственной нулевой точки.

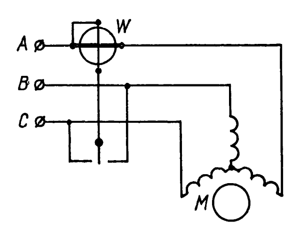


Рис. II.9. Схема измерения мощности одним ваттметром в трехфазной сети с переключением обмотки напряжения.

требляемая мощность установки P равна алгебраической сумме показаний ваттметра при первом (P_1) и втором (P_2) измерениях:

$$P_а = P_1 + P_2. \qquad \text{(II.1)}$$

Значения P_1 и P_2 можно измерять одновременно двумя ваттметрами. Это целесообразно тогда, когда к ваттметрам можно подвести напряжения всех трех фаз, а ток — только одной фазы.

4. Если к ваттметрам можно подвести токи двух фаз (A и C) и только одно междуфазное напряжение (AC), то мощность $P_а$ можно измерять двумя ваттметрами по схеме, приведенной на рис. II.10, где R_1, R_2, R_3 — сопротивления нагрузки. Тогда $P_а$ определяется из уравнения (II.1).

Активную мощность в трехпроводной сети при равномерной и неравномерной загрузках фаз можно измерить одним из следующих способов.

1. По схеме трех ваттметров, аналогичной показанной на рис. II.5, но без связи нулевой точки обмоток напряжения ваттметров с нулевым проводом сети.

2. По одному из вариантов схемы, приведенной на рис. II.11. В испытательной практике эти схемы применяются наиболее часто.

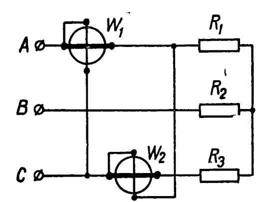


Рис. II.10. Схема измерения мощности в трехфазной сети двумя ваттметрами при подключении к ним токов разных фаз и одного междуфазного напряжения.

Реактивную мощность трехфазной установки $P_р$ определяют с помощью активных ваттметров по следующим схемам.

1. В трехпроводной сети с равномерной загрузкой фаз по одной из схем, приведенных на рис. II.11, $P_р$ определяют так:

$$P_р = \sqrt{3}\,(P_1 - P_2).$$

2. В трехпроводной сети с равномерной и неравномерной загрузкой фаз $P_р$ определяют по схеме, приведенной на рис. II.12, так:

$$P_р = \sqrt{3}\,(P_1 + P_2).$$

Сопротивление, включенное на свободную фазу (R), подбирают так, чтобы оно вместе с обмотками напряжения ваттметров и их добавочными сопротивлениями ($R_{w1} + R_{д1}$ и $R_{w2} + R_{д2}$) образовало симметричную звезду, а к ваттметрам были подведены фазовые напряжения:

$$R = R_{w1} + R_{д1} = R_{w2} + R_{д2}.$$

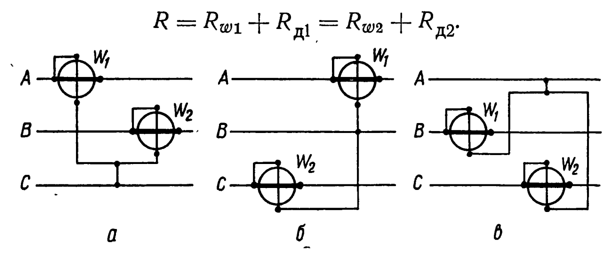


Рис. II.11. Варианты включения ваттметров по схеме Арона.

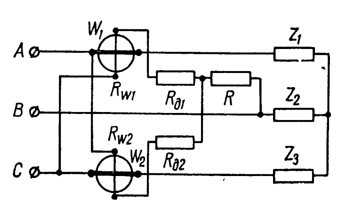


Рис. II.12. Схема измерения реактивной мощности двумя ваттметрами в сети трехфазного тока.

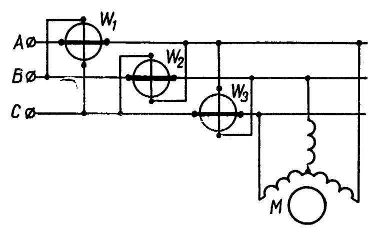


Рис. II.13. Измерение реактивной мощности тремя ваттметрами в трехфазной трехпроводной сети.

3. В трех- и четырехпроводной сети $P_р$ определяют по схеме трех ваттметров, включенных по напряжению «на чужие фазы» (рис. II.13 и II.14). При этом реактивная мощность

$$P_р = \frac{P_A + P_B + P_C}{\sqrt{3}}.$$

При равномерной загрузке фаз можно ограничиться одним из ваттметров. Тогда $P_р = \sqrt{3} P_A$. При определении реактивной мощности указанными выше методами необходимо знать порядок чередования фаз сети. Если он окажется обратным, показания ваттметров во многих случаях будут отрицательными.

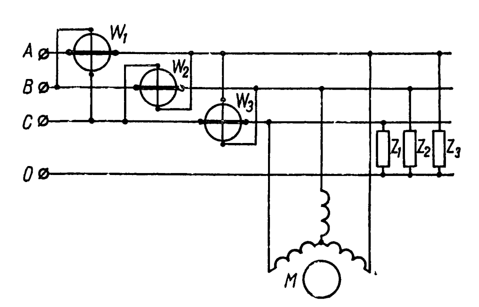


Рис. II.14. Измерение реактивной мощности тремя ваттметрами в трехфазной четырехпроводной сети.

Реактивную мощность можно определить косвенным методом, измерив ток, напряжение и активную мощность. По средним току и напряжению рассчитывают полную (кажущуюся) мощность:

$$S = \sqrt{3} U_л I_ф = 3U_ф I_ф \text{ [В · А]},$$

где $I_ф$ и $U_ф$ — соответственно фазные ток и напряжение; $U_л$ — линейное напряжение. Тогда реактивная мощность

$$P_р = \sqrt{S^2 - P_а^2} \text{ [вар]}.$$

Ниже приведены технические характеристики некоторых типов однофазных лабораторных ваттметров.

Ваттметр Д5004 (модификации Д5004/1—Д5004/10); ферродинамической системы; однофазный; класса 0,5; нормальная область частот от 45 до 65 Гц; номинальный ток параллельной цепи 3 мА; номинальный коэффициент мощности 1,0; номинальные напряжения 30; 75; 150; 300; 450; 600 В (у модификации Д5004/10: 100; 150 В); номинальные токи соответственно для модификаций 1—10: 5 и 10 А; 2,5 и 5 А; 1 и 2 А; 0,5 и 1 А; 0,25—0,5 А; 0,1 и 0,2 А; 50 и 100 мА; 25 и 50 мА; 10 и 20 мА; 1 и 5 мА; потребляемая мощность последовательной цепи от 0,01 до 0,25 В ; габаритные размеры 140 × 200 × 95 мм; масса 1,5 кг.

Ваттметр Д5016 (модификации Д5016/1—Д5016/5); электродинамической системы; однофазный; класса 0,2; нормальная область частот от 45 до 500 Гц; номинальный ток параллельной цепи 5 мА; номинальный коэффициент мощности 1,0; номинальные напряжения: 30; 75; 150; 300; 450; 600 В; номинальные токи соответственно для модификаций 1—5: 5 и 10 А; 2,5 и 5 А; 0,5 и 1 А; 0,1 и 0,2 А; 0,025 и 0,05 А; потребляемая мощность последовательной обмотки от 0,03 до 0,5 Вт; габаритные размеры 205 × 290 × 135 мм; масса 4,5 кг.

Ваттметр малокосинусный Д522 (модификации Д522/1 и Д522/2); электродинамической системы; однофазный; класса 1,0; номинальный коэффициент мощности 0,1; номинальные напряжения 75; 150; 300;

600 В; номинальные токи для Д522/1 — 0,25; 0,5; 1 А; для Д522/2 — 2,5; 5; 10 А; номинальный ток параллельной цепи 5 мА; потребляемая мощность последовательной цепи от 0,075 до 0,55 Вт; габаритные размеры 232 × 289 × 172; масса 5,5 кг.

Ваттметр Д5031 (модификации Д5031/1 — Д5031/4); ферродинамической системы; трехфазный; класса 0,5; нормальная область частот от 45 до 1100 Гц; номинальный коэффициент мощности (активной и реактивной) 1,0; номинальные токи, напряжения и мощности соответственно для модификаций 1—4: 1 А; 100; 250 В; 150; 375 Вт (вар), 5 А; 100; 250 В; 800; 2000 Вт (вар); 1 А; 375 В; 600 Вт (вар); 5 А; 375 В; 3000 Вт (вар); габаритные размеры 140 × 200 × 95 мм; масса 2 кг.

Ваттметр малокосинусный Д5020; электродинамической системы; однофазный; класса 0,5; номинальный коэффициент мощности 0,1; номинальные напряжения 30—600 В, номинальные токи 0,25—10 А; нормальная область частот от 45 до 65 Гц; габаритные размеры 205 × × 290 × 135 мм; масса 4,5 кг.

Ваттметр Д124; ферродинамической системы; трехфазный; класса 1,5; номинальные напряжения 125; 250; 375 В; номинальные токи 2,5 и 5 А; номинальная частота 50 Гц; потребляемая мощность от 6 до 12 В · А; габаритные размеры 286 × 215 × 132 мм; масса 4,5 кг.

Клещи мощности Д90; ферродинамической системы; однофазные; класса 4,0; номинальные напряжения 220 и 380 В; верхние пределы измерения мощности: при 220 В — 25; 50 и 75 кВт; при 380 В — 50; 100 и 150 кВт; номинальный коэффициент мощности 0,8; номинальная частота 50 Гц; габаритные размеры 239 × 94 × 41 мм; масса 0,6 кг.

Измерение коэффициента мощности и угла сдвига фаз

В наладочной практике наибольшее распространение получил косвенный метод определения коэффициента мощности ($\cos\varphi$) в цепях переменного тока. При этом измеряют либо ток, напряжение и мощность, либо только мощность по схеме двух ваттметров (в трехфазных трехпроводных сетях с равномерной нагрузкой фаз) (см. рис. II.11).

В первом случае коэффициент мощности определяют следующим образом:

для однофазных схем

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI};$$

для трехфазных схем

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{3}U_л I}.$$

Во втором случае определяют отношение показаний ваттметров $\frac{a_1}{a_2}$, а затем коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{\frac{a_1}{a_2}+1}{2\sqrt{\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2-\frac{a_1}{a_2}+1}}. \qquad (II.2)$$

Здесь a_1— показания ваттметра, токовая обмотка которого включена в опережающую фазу (относительно фазы второго ваттметра).

Для трех возможных вариантов включения ваттметров по схеме, представленной на рис. II.11, опережающую фазу следует определять так: при включении токовых обмоток ваттметров в фазы *A* и *B* опережающей будет фаза *A*, в фазы *B* и *C* — фаза *B*, в фазы *A* и *C* — фаза *C*.

Таблица II.6. **Технические характеристики приборов для измерения коэффициента мощности и угла сдвига фаз (при частоте 50 Гц)**

Тип	Класс точности	Пределы измерения угла сдвига фаз, град, и коэффициента мощности	Номинальные ток и напряжение	Примечания
Д5000	0,2	0—90—180—270—360 1—0—1—0—1	100; 127; 220 В 5; 10 А	Электродинамическая система; однофазный; габаритные размеры 230×280×140 мм; масса 7 кг
Д578/1	0,5	0—90—180—270—360 1—0—1—0—1	100; 127; 220 В 5; 10 А	Электродинамическая система; однофазный; габаритные размеры 230×280×140 мм; масса 7 кг
Д578/2	0,5	0—90—180—270—360 1—0—1—0—1	100; 220; 380 В 5; 10 А	
Д586	1,5	0—90—180—270—360 0,5 (емк.) — 1 — 0,5 (инд.)	100; 127; 220 В 5 А	Электродинамическая система; однофазный; габаритные размеры 280×200×185 мм; масса 8 кг
Э500/1	—	0—90—180—270—360 1—0—1—0—1	110; 280 В 5 А (кратковременно)	Электромагнитная система; однофазный; основная погрешность ±5 %; габаритные размеры 175×265×125 мм; масса 3 кг. Предназначен для измерения угла между двумя напряжениями
Э500/2	—	0—90—180—270—360	110; 380 В	
Э120	1,5	0 (емк.) — 1—0 (инд.)	127; 220; 380 В 5 А	Электродинамическая система; трехфазный
Д360	1,5	0,5—1—0,5	380 В 5 А	Ферродинамическая система: трехфазный

Для упрощения вычислений по выражению (II.2) на рис. II.15 приведены графики зависимости отношения $\frac{a_1}{a_2}$ от $\cos\varphi$ и $\sin\varphi$.

Для непосредственного измерения коэффициента мощности и угла сдвига фаз используются фазометры (рис. II.16). Технические характеристики наиболее распространенных в практике наладочных работ фазометров приведены в табл. II.6.

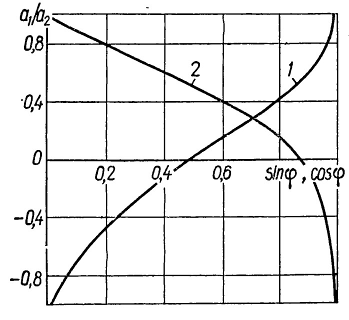


Рис. II.15. График зависимости показаний ваттметров, включенных по схеме Арона, от $\cos\varphi$ (1) и $\sin\varphi$ (2).

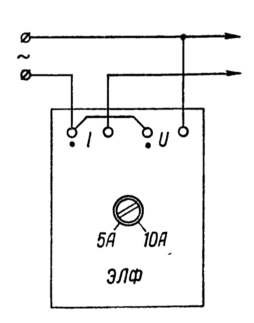


Рис. II.16. Схема включения однофазного фазометра.

Измерение частоты переменного тока

Частоту, близкую к 50 Гц, в промышленных электроустановках обычно измеряют щитовыми показывающими и регистрирующими частотомерами. В настоящее время приборостроительной промышленностью серийно выпускаются частотомеры с пределами от 45 до 55 (65) Гц; магнитоэлектрические типа М800 (с блоком-преобразователем Е839), электромагнитные типа Э8004, ферродинамические типов Д146, Д1506, Д1606 и вибрационные типа В81.

Ниже приведены характеристики некоторых частотомеров.

Стрелочный частотомер Д506М; класс точности 1; диапазон измерения 45—55 Гц; номинальное напряжение от 36 до 500 В; габаритные размеры 216 × 283 × 152 мм; масса 9 кг.

Стрелочный частотомер Д577; класс точности 0,5; диапазон измерения 45—55 Гц; номинальные напряжения 100; 127; 220 В; габаритные размеры 352 × 370 × 170 мм; масса 12 кг.

Цифровой частотомер Ф205; диапазон измерения 50 ± 2 Гц; входные напряжения цепи измерения 2 ± 1; 100 ± 20; 220 ± 44 В; габаритные размеры 80 × 200 × 310 мм; масса 3,5 кг.

Для точных измерений частоты применяется *электронный цифровой частотомер типа Ф5043*; класс точности 0,5; диапазон измеряемых частот 25—110, 125—1100, 1250—5500 Гц; потребляемая мощность 13 В · А; габаритные размеры 160 × 210 × 370 мм; масса 8 кг, а также электронно-счетные частотомеры Ч3-32, Ч3-33 и др. (см. Измерение времени).

В наладочной практике может быть использован частотомер Д125, ферродинамической системы, класса 1,5; номинальное напряжение 127; 220; 380 В; пределы измерения частоты 45—55 Гц; потребляе-

мая мощность 6 В · А; габаритные размеры 286 × 215 × 132 мм; масса 5,5 кг.

Высокая частота может быть измерена методом сравнения с частотой, задаваемой генератором стандартных сигналов (ГСС), генератором звуковой частоты (ЗГ) или волномером-гетеродином (ВГ). Сравнение осуществляется либо с помощью электронного осциллографа по фигурам Лиссажу, либо с помощью радионаушников по методу биения.

Самопишущие приборы

В тех случаях, когда при испытательно-наладочных работах возникает необходимость в измерении и непрерывной записи электрических величин на протяжении длительных отрезков времени, могут быть использованы самопишущие приборы. В табл. II.7 приведены технические характеристики некоторых типов щитовых самопишущих приборов. Общий вид прибора показан на рис. II.17.

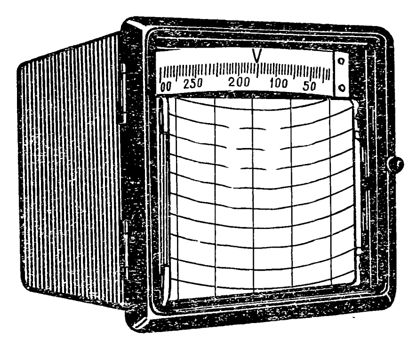


Рис. II.17. Общий вид самопишущего прибора.

Запись показаний производится чернилами на диаграммной бумаге в прямоугольных (реже криволинейных) координатах. Ширина рабочей части бумаги 100 мм. Скорость движения бумаги 20; 60; 180; 600; 1800; 5400 мм/ч. Для привода диаграммной бумаги используется синхронный двигатель с питанием от сети переменного тока 127 или 220 В.

Измерение сопротивления постоянному току

При испытательно-наладочных работах приходится измерять сопротивления, которые изменяются от десятков микроом (переходные сопротивления контактов) до тысяч мегом (сопротивления изоляции). В зависимости от измеряемого сопротивления и требуемой точности при этом используют: омметр (микроомметр, мегомметр); вольтметр и амперметр; одинарный мост (мост Уитстона); двойной мост (мост Томсона); потенциометр.

На сопротивление постоянному току очень существенно влияет температура объекта измерения, которую определяют одним из описанных ниже способов, но чаще всего с помощью жидкостных термометров одновременно с измерением сопротивления. Пересчет сопротивлений с одной температуры (t_1) на другую (t_2) может быть произведен по выражениям

$$\left.\begin{aligned} R_2 &= R_1 \frac{245 + t_2}{245 + t_1} \text{ (для алюминия)}, \\ R_2 &= R_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1} \text{ (для меди)}, \end{aligned}\right\} \qquad \text{(II.3)}$$

где R_2 и R_1— сопротивления при температурах t_2 и t_1.

Таблица 11.7. **Технические характеристики самопишущих приборов**

Тип	Назначение, система, род тока	Класс точности	Пределы измерения	Примечание
Н392	Амперметр, вольтметр щитовой, постоянного тока, магнитоэлектрической системы	1,5	50; 200; 1000 мкА; 2; 10 и 50 мВ От 1 до 300 мА; от 0,5 до 30 А; 75; 150 мВ; от 1,5 до 1000 В От 50 до 7500 А От 7500 до 70 000 А	В комплекте с усилителем Ф115 Непосредственное включение С шунтом С устройством И58М
Н332К	Миллиамперметр постояннного тока, контактный	1,0	5; 20 мА	
Н393	Амперметр, вольтметр щитовой, переменного тока, ферродинамической системы	1,5	От 50 до 500 мА; от 1 до 5 А; от 150 до 600 В От 1 до 40 000 А; от 450 В до 600 кВ	Непосредственное включение С трансформатором тока или напряжения
Н394	Амперметр, вольтметр щитовой, переменного тока, выпрямительной системы	2,5	От 5 до 500 мА; от 1 до 5 А; от 5 до 500 В	
Н396	Вольтметр щитовой, ферродинамической системы	1,5	1 или 5 А; 100; 127; 220; 380 В	Шкала ваттметра исполняется согласно заказу
Н395	Ваттметр, варметр щитовой, ферродинамической системы	1,5	1 или 5 А 100; 127; 220; 380 В	То же
Н399	Микроампермилливольтметр переносной, магнитоэлектрической системы	1,5	10; 50; 250 мкА; от 1 до 250 мВ; от 1 до 100 В От 0 до 500 А	С наружным шунтом
Н339	Ампервольтметр, многопредельный, выпрямительной системы, постоянного и переменного тока	1,5 2,5	10; 50; 250 мкА; от 1 до 500 мВ От 5 мА до 5 А; от 1 до 500 В От 0 до 500 А	В комплекте с усилителем; входное сопротивление 10 МОм Непосредственное включение С наружным шунтом
Н3010	Прибор многоперьевой	Погрешность ±0,3 %	От 2,5 до 625 мВ; от 1,25 до 250 В	Модификации: Н3010 — 1 канал, Н3010 — 2 канала, Н3010 — 4 канала, Н3010 — 6 каналов

При измерении малых сопротивлений (ниже 1 Ом) необходимо учитывать сопротивление соединительных проводов и переходные сопротивления контактов.

Если измерения производят с помощью одинарного моста или низкопредельного омметра, то сопротивление проводов и частично контактов может быть предварительно измерено тем же прибором. Значение сопротивления вычитают из полученного результата. Не следует применять эти методы для точных измерений малых сопротивлений.

Измерение сопротивления с помощью двойного моста, вольтметра — амперметра, потенциометра сводится к определению падения напряжения на измеряемом сопротивлении, поэтому если потенциальные провода включены так, что они не охватывают токовые провода и контактные соединения, то последние не оказывают влияния на результат измерения. На рис. II.18, *а* и *б* в качестве примера приведены неправильные схемы измерения малых сопротивлений по методу вольтметра — амперметра, а на рис. II.18, *в* — правильная.

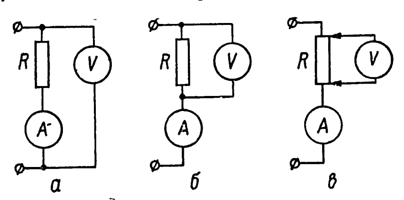


Рис. II.18. Схемы измерения сопротивления методом вольтметра — амперметра.

Измерение сопротивления с помощью омметра

Определение сопротивления омметром — непосредственный метод измерения, наименее точный из всех перечисленных выше. Омметры, рассчитанные на измерение сопротивлений от 1 Ом до 100 кОм, чаще всего применяют при приближенных предварительных измерениях сопротивлений, а также при проверке цепей коммутации.

Технические характеристики некоторых омметров приведены в табл. II.8.

Таблица II.8. **Технические характеристики омметров**

Тип	Погрешность измерения, %	Пределы измерения	Примечание
М57Д	10—22	20—1500 Ом	
М371	1,5	10 Ом — 10 МОм	Напряжение питания 120 В
М372	1,5	До 50 Ом	
М4125	1,5	До 3; 30 и 300 кОм	Питание от сухих элементов напряжением 1,5 В
Ф410	1,5	10; 100; 1000 Ом; 10; 100; 1000 кОм; 10 МОм	Питание от сети 220 В или шести встраиваемых элементов 373 напряжением 9 В
Измеритель сопротивления заземления М416	4,0	0,1—1000 Ом	Питание от трех сухих элементов 373 напряжением 4,5 В

Измерение сопротивления с помощью амперметра и вольтметра

Этот косвенный метод определения сопротивления основан на измерении тока, протекающего через сопротивление, и падения напряжения на нем. На рис. II.19 приведены два варианта схемы включения приборов. Схему *а* применяют при измерении малых сопротивлений, когда включение вольтметра параллельно сопротивлению изменяет ток незначительно. Измеряемое сопротивление можно точно рассчитать по формуле

$$R = \frac{U}{I - \frac{U}{R_в}} \text{ [Ом]},$$

Рис. II.19. Схемы включения вольтметра и амперметра при измерении малых (*а*) и больших (*б*) сопротивлений.

Рис. II.20. Схема измерения сопротивления двумя вольтметрами.

где $R_в$ — сопротивление вольтметра. Схему *б* применяют при измерении больших сопротивлений, для которых справедливо выражение

$$R = \frac{U - IR_а}{I} \text{ [Ом]},$$

где $R_а$ — сопротивление амперметра.

При измерении вольтметром и амперметром во избежание нагрева сопротивления ток не должен превышать 20 % номинального. Длительность измерения следует ограничивать временем, необходимым для надежных отсчетов по приборам. Вольтметр и амперметр при измерениях следует располагать рядом; показания приборов нужно снимать одновременно.

Большие сопротивления можно измерять с помощью одного или двух вольтметров по схеме, приведенной на рис. II.20. По показаниям U_1 и U_2 вольтметров сопротивление рассчитывают согласно выражению

$$R = R_в\left(\frac{U_2}{U_1} - 1\right),$$

где $R_в$ — сопротивление вольтметра.

Для исключения ошибок, обусловленных индуктивностью измеряемой цепи, отсчет осуществляют при установившихся показаниях измерительных приборов. При измерениях сопротивления в цепях, обладающих значительной индуктивностью, для предотвращения повреждения вольтметра ЭДС самоиндукции объекта вольтметр следует подключать при установившемся значении тока в цепи, а отключать — до разрыва цепи тока. Кроме того, испытываемые обмотки сами могут быть повреждены при отключении больших токов в результате про-

боя их изоляции. Поэтому перед отключением измерительный ток следует снизить до минимума (не более 5 % номинального тока данной обмотки).

Измерение сопротивления с помощью одинарного моста (моста Уитстона)

Принципиальная схема одинарного моста приведена на рис. II.21. Результаты при измерении сопротивлений от 1 Ом до 1 МОм получаются надежные и точные.

Основное соотношение одинарного моста:

$$R_x = R_3 \frac{R_1}{R_2} \text{ [Ом]},$$

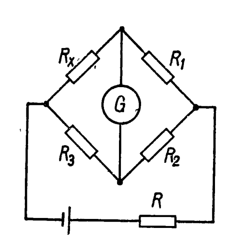


Рис. II.21. Схема одинарного моста.

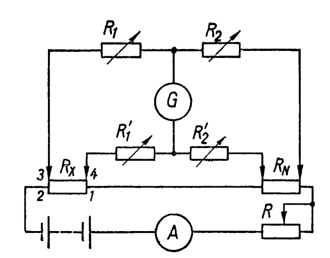


Рис. II.22. Схема двойного моста.

где R_x— измеряемое сопротивление; R_1, R_2, R_3— сопротивления плеч моста, при которых наступает его равновесие (стрелка гальванометра устанавливается на нулевой отметке).

Мост может быть собран из отдельных элементов, тогда плечи его R_1, R_2, R_3 выполняют из магазинов сопротивления. Плечи R_2 и R_3 могут быть выполнены из калиброванной проволоки (реохорда), по которой перемещается движок, соединенный с гальванометром G.

Измерение сопротивления с помощью двойного моста (моста Томсона)

Как правило, измерение сопротивления меньше 1 Ом с помощью одинарного моста не дает достаточно точного результата из-за влияния сопротивления соединительных проводов и переходных контактов. Этот недостаток в значительной степени устраняется при использовании двойного моста. Принципиальная схема этого моста приведена на рис. II.22.

Изменением сопротивлений R_1, R_2, R_1' и R_2' гальванометр устанавливают на нуль. При этом сохраняются равенства $R_1 = R_1'$ и $R_2 = R_2'$. Уравнение равновесия моста

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2},$$

где R_N — образцовое сопротивление, составная часть моста. К измеряемому сопротивлению R_x подсоединяют четыре провода. Провод *2* — продолжение цепи питания моста, его сопротивление не отражается на точности измерений. Провода *3* и *4* включены последовательно с сопротивлениями R_1 и R_2, бóльшими 10 Ом, так что их влияние ограничено. Провод *1* является составной частью схемы; его следует выбирать как можно толще и короче, хотя и он оказывает значительно меньшее влияние на результат измерения, чем соединительные провода в одинарном мосте. В табл. II.9 приведены технические характеристики некоторых мостов постоянного тока, выпускаемых отечественной промышленностью.

Таблица II.9. **Технические характеристики мостов постоянного тока**

Тип	Пределы измерения, Ом	Погрешность, %	Примечание
ММВ	$5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{4}$	2—15	Одинарный мост. Питание от батареи сухих элементов
Р333	$5 \cdot 10^{-3} - 9{,}99 \cdot 10^{5}$	0,5—5	Одинарный мост. Питание от сухого элемента 373
Р353	0,2—50; 20—5000	5	Одинарный мост. Питание от сухого элемента 373
Р316	$10^{-5} - 10^{6}$	0,2—5	Одинарный мост. Питание от сети 127 или 220 В
МО-62	$2 \cdot 10^{-5} - 10^{6}$	0,1—5	Одинарный мост. Питание от батареи сухих элементов или сети 220 В
Р3009	$10^{-8} - 1{,}1 \cdot 10^{10}$	0,01—2	Одинарно-двойной мост. Напряжение источника питания постоянного тока 1—100 В
МОД-61	$10^{-8} - 10^{8}$	0,05—1	Одинарно-двойной мост. Питание от сети 127 или 220 В

Одинарный мост Р316 позволяет проводить измерения малых сопротивлений по четырехзажимной схеме, исключающей влияние сопротивления соединительных проводов на результат измерений. Конструкция моста позволяет использовать его в качестве магазина сопротивлений, а также использовать внутренний гальванометр. Кроме того, можно работать с наружным гальванометром.

При измерениях сопротивления в цепях, обладающих индуктивностью, во избежание ошибок и для предотвращения повреждений гальванометра необходимо производить измерения при установившемся токе, а отключение гальванометра — до разрыва цепи тока.

Измерение сопротивления с помощью потенциометра

Этот способ можно применять при измерении малых сопротивлений. Он заключается в том, что последовательно с измеряемым сопротивлением включают образцовое сопротивление R_N, близкое по значению к измеряемому. Через оба сопротивления пропускают постоянный ток и с помощью потенциометра определяют падение напряжения сначала на образцовом, затем на измеряемом и, наконец, опять на образцовом сопротивлении. Последнюю операцию проводят для того, чтобы убедиться, что ток в процессе измерений не изменился (рис.II.23). Измеряемое сопротивление

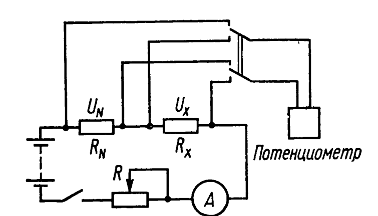


Рис. II.23. Схема измерения сопротивления с помощью потенциометра.

$$R_x = R_N \frac{U_x}{U_N} \text{ [Ом]},$$

где U_x и U_N — падения напряжения соответственно на измеряемом и образцовом сопротивлениях, В или мВ.

Измерение активных, индуктивных, емкостных и полных сопротивлений переменному току

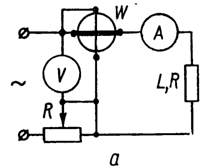
Емкостные и индуктивные, а также (в меньшей мере) активные сопротивления зависят от частоты переменного тока. Они нелинейно зависят от тока и напряжения, а также от формы их кривых. Поэтому для таких сопротивлений обычно задают условия, при которых их следует измерять. В некоторых случаях снимают вольт-амперные характеристики, т. е. определяют зависимость тока от подводимого к сопротивлению напряжения $I = f(U)$ и сопротивление (в общем случае полное) по формуле

$$Z = \frac{U}{I} \text{ [Ом]}$$

при нескольких значениях тока; в случае необходимости можно построить кривую зависимости $Z = f(I)$, или $Z = f(U)$.

Определение активного сопротивления и индуктивности с помощью вольтметра, амперметра и ваттметра

Схему, приведенную на рис. II.24, *а*, применяют в тех случаях, когда измеряемое сопротивление велико; если же оно мало, используют схему, показанную на рис. II.24, *б*. По измеренным току I, напряжению U и мощности P можно определить полное сопротивление Z, активное сопротивление



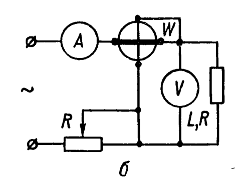


Рис. II.24. Схема определения индуктивного и активного сопротивлений.

$$R = \frac{P}{I^2} \text{ [Ом]}$$

и реактивное (в данном случае индуктивное) сопротивление

$$X=\sqrt{Z^2-R^2}=\frac{\sqrt{U^2I^2-P^2}}{I^2}\ [\text{Ом}].$$

Индуктивность определяется по формуле

$$L=\frac{X}{\omega}=\frac{X}{2\pi f}\ [\text{Г}].$$

Определение взаимной индуктивности

Определение с помощью вольтметра и амперметра. В первичной цепи (рис. II.25) устанавливается ток I и измеряется соответствующее ему напряжение U, индуктируемое во вторичной цепи (сопротивление

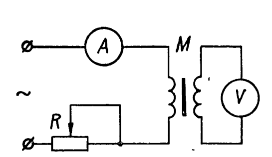


Рис. II.25. Схема определения взаимной индуктивности методом вольтметра и амперметра.

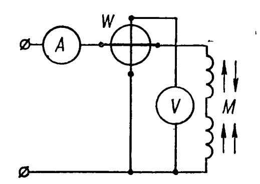


Рис. II.26. Схема определения взаимной индуктивности при последовательном соединении катушек.

вольтметра должно быть как можно большим). Взаимную индуктивность M определяют так:

$$M=\frac{U}{I\omega}\ [\text{Г}].$$

Для уменьшения погрешности измерения вольтметр должен обладать возможно бо́льшим внутренним сопротивлением. Наиболее точные результаты получают при использовании вольтметра электростатической системы.

Метод последовательного соединения катушек. Катушки взаимной индуктивности соединяют последовательно друг с другом так, чтобы создаваемые ими потоки складывались согласно. Затем включают вольтметр, амперметр и ваттметр по схеме, приведенной на рис. II.26, и определяют индуктивность:

$$L_1=\frac{\sqrt{U_1^2I_1^2-P_1^2}}{2\pi fI_1^2}\ [\text{Г}].$$

После этого катушки взаимной индуктивности включают встречно и, повторяя измерения, получают

$$L_2=\frac{\sqrt{U_2^2I_2^2-P_2^2}}{2\pi fI_2^2}\ [\text{Г}].$$

Взаимная индуктивность определяется равенством

$$M = \frac{L_1 - L_2}{4} \text{ [Г]}.$$

Измерение емкости

Измерения с помощью вольтметра, амперметра и ваттметра. Если потерями в конденсаторе можно пренебречь, измеряемую емкость (см. рис. II.24) определяют так:

$$C = \frac{I \cdot 10^6}{U \cdot 2\pi f} \text{ [мкФ]}.$$

С учетом же потерь

$$C = \frac{I^2 \cdot 10^6}{2\pi f \sqrt{U^2 I^2 - P^2}} \text{ [мкФ]}.$$

Непосредственное измерение емкости. Для измерения емкости применяют приборы типа логометра, отградуированного в фарадах или микрофарадах (так называемые фарадметры или микрофарадметры). Емкость можно измерять и универсальными приборами (в том числе электронными). *Микрофарадметр Д-524М* предназначен для измерения емкости конденсаторов с рабочим напряжением не ниже 150 В эффективных и тангенсом угла диэлектрических потерь не более 3 %. Прибор электродинамической системы. Класс точности 1,0. Питание от сети 127 В. Пределы измерения 1; 2; 5 и 10 мкФ. Потребляемая мощность не больше 70 В·А.

Измерение с помощью моста переменного тока. Емкость чаще всего измеряют переносными мостами переменного тока. Широкое распространение в наладочной практике получили мосты Р571, Р589, Р5016, Р5026.

Определение чередования фаз

Определение чередования фаз в трехфазных системах необходимо при наладке вращающихся машин, фазировке, наладке релейной защиты, проверке правильности включения измерительных приборов и т. д.

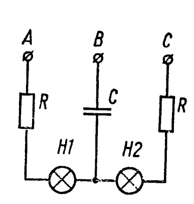


Рис. II.27. Схема лампового фазоуказателя.

Для определения чередования фаз применяются фазоуказатели. Наиболее простым и удобным является фазоуказатель И517 — асинхронный микроэлектродвигатель, рассчитанный на напряжение 50—500 В и рабочую частоту 40—60 Гц. Для определения чередования фаз могут быть использованы и комбинированные приборы: универсальный фазоуказатель Э500, вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85. Кроме того, можно собрать специальную схему (рис. II.27) для определения чередования фаз. В такой схеме лампа, включенная в фазу, отстающую от фазы с емкостью, горит ярко.

Поверка электроизмерительных приборов

При наладочных работах иногда возникает необходимость в поверке электроизмерительных приборов. Повреждения приборов (поломка или износ камней и кернов, обрыв или замыкание обмоток и т. п.) происходят при перевозке, монтаже или в процессе длительной эксплуатации. Кроме поверок, производимых наладочной или эксплуатирующей организацией, поверки периодически проводят представители Государственного Комитета стандартов, мер и измерительных приборов Совета Министров СССР. Каждый прибор должен иметь клеймо, свидетельствующее о прохождении государственной поверки.

В процессе поверки выполняются следующие операции: внешний осмотр, предварительные испытания, сборка схемы, поверка показаний прибора. При внешнем осмотре выявляют дефекты, которые заведомо препятствуют нормальной работе прибора, если даже они не влияют на правильность его показаний (например, поломка стекла, нарушение уплотнения, окраски, никелировки, контактных соединений и т. п.).

При предварительных испытаниях измеряют сопротивление, проверяют изоляцию прибора (значение испытательного напряжения указывается на шкале) и уравновешенность подвижной части (при отклонении прибора на 5—10° от нормального положения не должно быть изменений его показаний) и контролируют успокоение колебаний.

В схеме поверки в качестве образцовых приборов необходимо использовать такие приборы, у которых максимально допустимые погрешности по крайней мере в три раза меньше погрешностей поверяемого прибора:

Класс поверяемого прибора	Класс (вид) образцового прибора
4,0	1,0
2,5; 1,5	0,5
1,0	0,2
0,5	0,1
0,2; 0,1	Потенциометр

Поверка показаний прибора заключается в том, что поверяемым и образцовым приборами одновременно измеряют одну и ту же величину и определяют приведенную относительную погрешность (на оцифрованных делениях поверяемого прибора)

$$\varepsilon_{пр} = \frac{A_x - A_о}{A_в - A_н},$$

где A_x и $A_о$ — показания соответственно поверяемого и образцового приборов; $A_в$ и $A_н$ — соответственно верхний и нижний пределы шкалы поверяемого прибора. Значение $\varepsilon_{пр}$ не должно превышать класс точности поверяемого прибора ни на одном из оцифрованных делений шкалы.

Условия определения погрешности, предусмотренные ГОСТами: отсутствие влияния внешних факторов (магнитных и электростатических полей и т. п.), могущих исказить показания приборов; нормальный режим приборов (напряжение, частота); нормальное положение приборов (согласно знаку на шкале); предварительная установка стрелки (указателя) на нуль с помощью корректора; предварительный прогрев приборов номинальным током в течение не менее 15 мин.

При поверке щитовых приборов и переносных лабораторных приборов класса 0,5 чаще всего используют метод сличения. Щитовые приборы обычно проверяют на месте их установки, переносные — в лаборатории. Для поверки применяют специальные поверочные устройства или собирают схему на месте.

Для поверки амперметров переменного тока со шкалой до 5 А, которые обычно применяют в электросиловых установках, собирают схему согласно рис. II.28. Мощность нагрузочного трансформатора (НТ) может не превышать 30 В · А при вторичном напряжении 6 В. Сопротивление ползункового реостата $R = 200 \div 300$ Ом для обеспечения плавной регулировки тока во всех частях шкалы поверяемого A_x и образцового A_0 амперметров. Вместо реостата может быть применен регулировочный автотрансформатор (АТ).

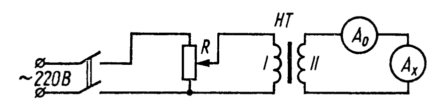


Рис. II.28. Схема поверки вторичных амперметров переменного тока.

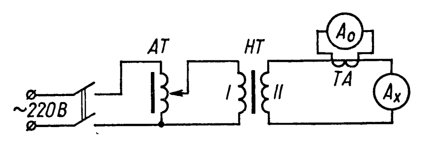


Рис. II.29. Схема поверки амперметров переменного тока непосредственного включения.

Амперметры переменного тока непосредственного включения с пределом измерения до 300 А поверяют по специальной схеме (рис. II.29). Регулировочный *АТ* выбирают на ток 8 А (ЛАТР-1, РНО-250-2), *НТ* имеет мощность 500 В · А, вторичное напряжение 6 В. Амперметр A_0 включают через лабораторный трансформатор тока *ТА*, первичный ток которого равен номинальному току поверяемого амперметра A_x.

Амперметры постоянного тока, рассчитанные на включение с наружными шунтами, представляют собой милливольтметры; их поверяют отдельно от шунтов (рис. II.30). Сопротивление реостатов: на рис. 30,*а* $R_1 = R_2 = 100 \div 300$ Ом; на рис. II.30,*б* $R_1 = 100$ Ом; $R_2 = 100 \div 300$ Ом.

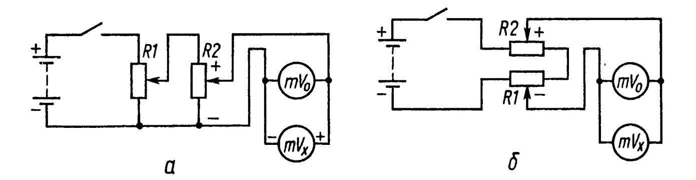


Рис. II.30. Схема поверки амперметра постоянного тока, рассчитанного на включение с наружным шунтом.

Образцовый милливольтметр mV_0 присоединяют к схеме калиброванными проводами; для поверяемого прибора mV_x сопротивление проводов должно быть равно значению, указанному на шкале. Одновременно с поверкой милливольтметра следует измерить сопротивление проводов, связывающих его с шунтом. Сопротивление этой цепи подгоняют, либо изменяя сечение соединительных проводов, либо с помощью подгоночной катушки, помещенной внутри милливольтметра.

Для поверки амперметров постоянного тока без наружных шунтов с пределами измерения 100 А и больше используют схему (рис. II.31) со ступенчатым реостатом $R1$ и ползунковым реостатом $R2$, служащими для плавной регулировки тока. Источником питания в этой схеме может служить переносная аккумуляторная батарея или генератор постоянного тока. В условиях наладки предпочтительна схема поверки (рис. II.32), в которой используется источник питания переменного тока с последующим выпрямлением его кремниевыми выпрямителями V. Конденсаторы C (электролитические, емкостью 2000—20 000 мФ на 20 В) служат для сглаживания пульсаций выпрямленного тока. Последовательное включение двух регулировочных AT позволяет более плавно регулировать силу тока.

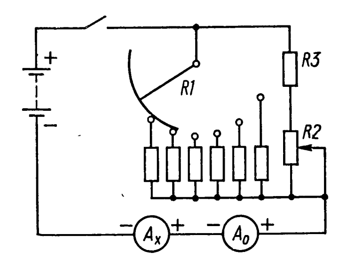


Рис. II.31. Схема поверки амперметра постоянного тока с внутренним шунтом.

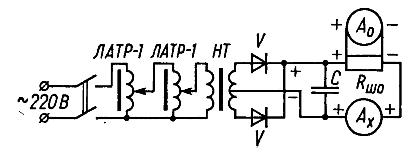


Рис. II.32. Схема поверки амперметра постоянного тока с помощью выпрямителей.

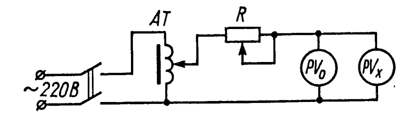


Рис. II.33. Схема поверки вольтметра переменного тока.

Вольтметры переменного тока проще всего поверять по схеме (рис. II.33), в которой напряжения изменяются регулировочным AT или — более плавно — ползунковым реостатом R (на 100 Ом).

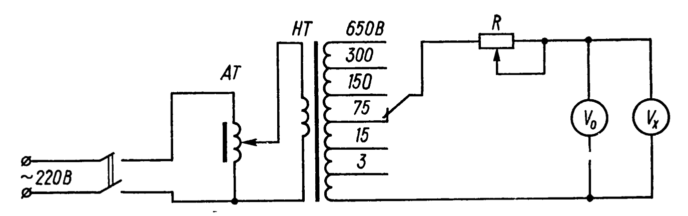


Рис. II.34. Схема переносной установки для поверки вольтметров напряжением до 600 В.

Для поверки вольтметров с пределами измерения 3—600 В удобна переносная установка (рис. II.34). Нагрузочный трансформатор этой установки имеет отпайки вторичной обмотки на 3; 15; 75; 150; 300 и 650 В (мощность прибора 100—200 В · А).

Для поверки милливольтметров переменного тока, главным образом электронных, в схему (рис. II.35) поверяемый милливольтметр V_x включают через делитель напряжения, собранный на активных сопротивлениях $R1$ и $R2$ с соотношением плеч 10 000 : 1 и более; в качестве образцового применяют лабораторный вольтметр V_0 с пределами измерения 75—150 В.

При поверке вольтметров постоянного тока вместо регулировочного AT (см. рис. II.33) применяют делитель напряжения; источник переменного тока заменяют аккумуляторной батареей или сухими элементами. Широко применяются также схемы с выпрямителями.

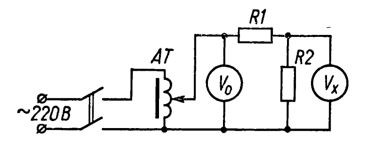


Рис. II.35. Схема поверки электронного милливольтметра переменного тока.

Трехфазные двухэлементные ваттметры W_x, наиболее часто применяющиеся в электроустановках, поверяют по схеме с искусственным разделением цепей тока и напряжения (рис. II.36). Ток и напряжение в фазах регулируют автотрансформаторами AT_1 и AT_2 и реостатами R (ток). Требуемый угол сдвига фаз между током и напряжением устанавливают с помощью фазорегулятора $ФР$. В качестве образцовых используют лабораторные однофазные ваттметры W_1 и W_2. По этой же схеме можно поверить трехфазный фазометр, включив его вместо ватт-

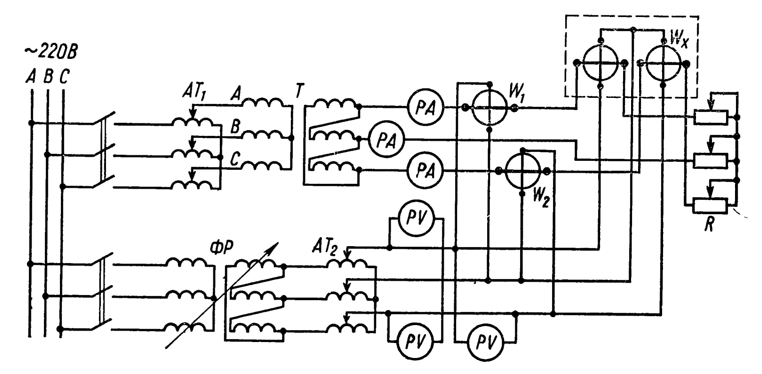


Рис. II.36. Схема переносной установки для поверки трехфазных ваттметров.

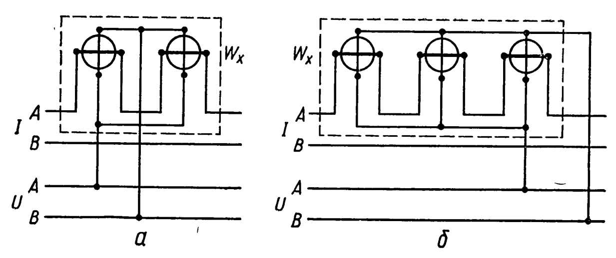


Рис. II.37. Схема соединения обмоток трехфазных ваттметров при поверке их в однофазной схеме.

метра W_x. Образцовыми приборами будут те же ваттметры W_1 и W_2 Если поверка трехфазных ваттметров по описанной выше схеме в условиях наладки затруднительна, то допустимо заменить ее однофазной схемой. Обмотки двух- и трехэлементных трехфазных ваттметров соединяют, как показано на рис. II.37, т. е. все токовые обмотки — после-

довательно, а обмотки напряжения — параллельно. Показания поверяемых ваттметров W_x сравнивают с показаниями однофазного ваттметра. Его показания следует умножить на два (для рис. II.37, *а*) или на три (для рис. II.37,*б*).

Измерение времени

Время длительностью от нескольких минут до нескольких часов измеряют с помощью обычных ручных или стационарных часов. Промежутки времени от нескольких секунд до нескольких минут измеряют пружинными секундомерами.

При измерении времени 0,1—10 с в наладочной практике применяют электрические секундомеры (рис. II.38). Схема соединений переносного лабораторного электрического секундомера приведена на рис. II.39. Секундомер можно остановить, отключая его от сети или шунтируя поляризованное реле *ПР* при замыкании накоротко зажимов 0 и *.

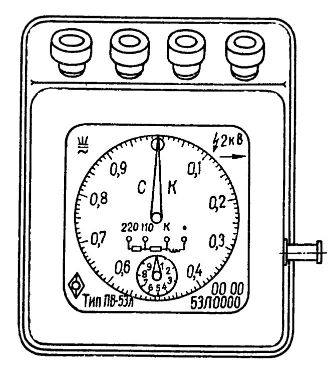


Рис. II.38. Внешний вид электрического секундомера.

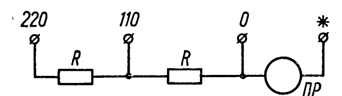


Рис. II.39. Схема соединений электрического секундомера ПВ-53Л.

Секундомер ПВ-53Л. Номинальное напряжение 110 и 220 В, допустимые колебания напряжения ± 20 %. Номинальная частота 50 Гц. Цена деления большой шкалы 0,01 с, верхний предел 1 с; цена деления малой шкалы 1 с, верхний предел 10 с. Погрешность (максимальная) при номинальной частоте в диапазоне 0—3 с составляет ± 0,03 с, в диапазоне 3—10 с —± 0,05 с. Потребляемая мощность 5 В • А при 110 В, 10 В • А при 220 В.

При частоте, отличной от 50 Гц, в показания секундомера должна быть внесена поправка

$$t_и = t\frac{50}{f_и},$$

где $t_и$ — измеряемое время; t — показания секундомера; $f_и$ — частота сети, при которой производилось измерение времени.

Для измерения сотых, тысячных, десятитысячных долей секунды применяют милли- и микросекундомеры, а также электронно-счетные частотомеры.

Миллисекундомер ЭМС-54 (рис. II.40) представляет собой электронный прибор, принцип действия которого основан на измерении катодным вольтметром остаточного напряжения U конденсатора C, заряжаемого током I неизменной величины: $U = It/C$. Напряжение пропорционально времени протекания тока t, поэтому шкала прибора может быть отградуирована в единицах времени.

Миллисекундомер типа ЭМС-54 имеет пять пределов измерений времени: 0—25; 0—50; 0—100; 0—250; 0—500 мс и три значения напряжения питания (переменного тока): 110, 127, 220 В.

Электронно-счетные частотомеры предназначены для измерения частоты, интервалов времени, длительности импульсов, счета числа импульсов.

Частотомер Ч3-32: диапазоны измерения частоты $10—3{,}5 \times \times 10^6$ Гц, интервалов времени $10^{-5}—10^2$ с, длительность импульсов $10^{-7}—100$ с.

Аналогичные характеристики имеют электронно-счетные частотомеры Ч3-34, Ч3-34А, Ч3-36, Ч3-47, Ч3-57.

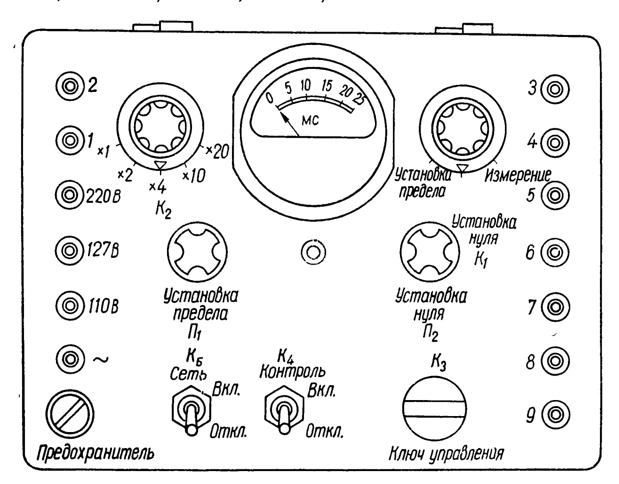


Рис. II.40. Общий вид передней панели миллисекундомера типа ЭМС-54.

Измерение температуры

Необходимость измерения температуры возникает при испытании на нагрев, измерении сопротивления постоянному току, проверке состояния изоляции и т. д. Температуру измеряют с помощью жидкостно-стеклянных термометров расширения, термоэлектрическим способом, с применением термометров сопротивления, индикаторов температуры.

Измерение температуры с помощью жидкостно-стеклянных термометров расширения

Жидкостно-стеклянные термометры выпускают заполненными ртутью или спиртом. Спиртовые термометры применяют реже; им отдается предпочтение при измерении в зоне действия сильных магнитных полей. Термометры разделяют на лабораторные палочные (толстостенная трубка со шкалой), лабораторные с вложенной шкалой (в том числе и нормальные — с ценой деления 0,1 °С), технические прямые и угловые. Термометры на заводе градуируют при полном погружении их в нагреваемую среду, а так как при работе их с нагретым телом или средой

соприкасается только баллончик и часть капилляра, при измерении следует вносить поправку на температуру выступающего столбика ртути

$$\Delta t = kh\,(t_т - t_в)\ [°C],$$

где k — коэффициент расширения жидкости в стеклянном капилляре (обычно 0,000167); h — высота выступающего столбика, °C; $t_т$— показания термометра, °C; $t_в$— температура окружающего воздуха, измеренная контрольным термометром, °C.

Поправку алгебраически прибавляют к основным показаниям. Термометр должен быть расположен так, чтобы удобно было снимать показания. Если измеряют температуру потока жидкости или газа, то баллончик термометра нужно располагать в центре потока под углом к оси трубопровода, навстречу потоку. При измерении температуры в трубопроводах или резервуарах, находящихся под давлением, термометры вставляют в запаянные трубки, вваренные в месте измерения температуры. Для улучшения теплопередачи трубки заполняют маслом или медными опилками.

Термоэлектрический способ измерения температуры

Этот способ основан на термоэлектрическом эффекте, который заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух разнородных проводников (термопара), при условии перепада температур на спаях проводников возникает постоянный электрический ток. Значение его

$$I = \frac{E}{R}\ [мА],$$

где R — сопротивление цепи, Ом; E — термоЭДС, пропорциональная разности температур спаев термопары, $E = f\,(\Delta t)$ [мВ].

ЭДС можно измерять милливольтметром, потенциометром или другим чувствительным прибором, включенным в цепь термопары.

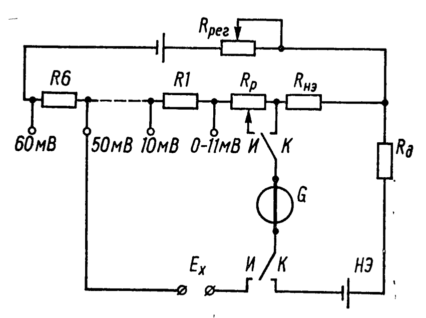


Рис. II.41. Схема переносного потенциометра ПП:

$R_{рег}$ — регулировочный реостат; $R_р$ — реохорд потенциометра; $R1$ — $R6$ — резисторы для ступенчатого изменения ЭДС; $R_{н.э}$ — образцовое сопротивление, падение напряжения на котором сравнивают с ЭДС нормального элемента *НЭ* при установке рабочего тока; $R_д$ — защитный резистор *НЭ*; E_x — измеряемая ЭДС; *И* и *К* — положения переключателя соответственно при измерении и контроле.

Если холодный спай поместить в термостат с температурой 0 °C (с тающим льдом), показания измерительного прибора будут пропорциональны температуре горячего спая. Горячий спай выполняют очень малым по размерам (ему можно придать форму иглы или пластинки), поэтому он пригоден для измерения температуры в труднодоступных местах. Если же температура холодного спая $t_х$ не равна нулю, то температура горячего спая

$$t_г = \Delta t + t_х,$$

где Δt — разность температур спаев, измеренная электрическим прибором, °С.

Применяются такие термопары: ХК — хромель-копелевые (термоЭДС на каждые 100 °С составляют 6,95 мВ); ХА — хромель-алюмелевые (термоЭДС на каждые 100 °С — 4,1 мВ); ПП — платинородий-платиновые (термоЭДС на каждые 100 °С — 0,64 мВ); МК — медь-константановые (термоЭДС на каждые 100 °С — 4,16 мВ).

В испытательно-наладочной практике термоЭДС чаще всего измеряют переносными потенциометрами. На рис. II.41 в качестве примера изображена принципиальная схема довольно распространенного потенциометра типа ПП (снят с производства). Выпускаемый промышленностью переносный потенциометр ПП-63 имеет пределы измерения 0—25; 0—50; 0—100 мВ. Встроенный в прибор гальванометр имеет постоянную по току $4{,}5 \cdot 10^{-7}$ А/дел, внутреннее сопротивление 18 Ом, внешнее критическое сопротивление 250 Ом.

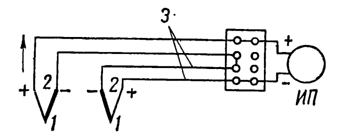


Рис. II.42. Схема встречного (дифференциального) включения термопар:

1 — рабочие концы термопар; 2 — свободные концы термопар; 3 — соединительные провода; ИП — измерительный прибор.

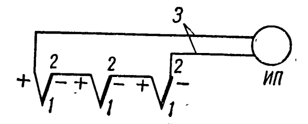


Рис. II.43. Схема термобатареи (условные обозначения те же, что на рис. II.42).

Термоэлектрическим способом можно измерять разность температур в двух точках (рис. II.42). Чтобы повысить термоЭДС, термопары включают последовательно, при этом они образуют термобатареи (рис. II.43).

Измерение температуры с помощью термометров сопротивления

Рассматриваемый способ основан на том, что сопротивление электрических проводников изменяется в зависимости от температуры. Зная зависимость между изменением сопротивления постоянному току проводников и температурой, можно, измерив сопротивление, определить температуру проводников. К достоинствам этого метода следует отнести высокую точность при небольших отклонениях измеряемой температуры от окружающей, возможность дистанционного измерения температуры (так же, как и с помощью термопар), возможность измерения средней температуры протяженных объектов (например, стержней обмотки электрической машины).

Термометр сопротивления представляет собой тонкую медную или платиновую проволоку (другие металлы применяются реже), намотанную на каркас и заключенную в защитную арматуру (рис. II.44). Сопротивление в процессе испытаний определяется с помощью переносного моста постоянного тока; в стационарных условиях для этой цели применяют логометры или автоматические мосты. Температуру в первом приближении можно вычислить по таким формулам:

для медных термометров сопротивления

$$t = \frac{R - R_0}{R_0}(235 + t_0) + t_0, \qquad (II.4)$$

для платиновых

$$t = \frac{R - R_0}{R_0}(255 + t_0) + t_0,$$

где R и R_0— сопротивление соответственно при температуре t и начальной температуре t_0 (обычно 0 °С). Более точно температуру можно определить с помощью градуировочных таблиц (ГОСТ 6651—78).

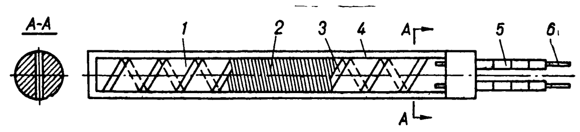


Рис. II.44. Схематический чертеж платинового термометра сопротивления:

1 — слюдяные накладки; 2 — пластинка; 3 — обмотка; 4 — чехол; 5 — фарфоровые изоляторы; 6 — серебряные выводы.

Для определения температуры электрических проводников (обмоток машин, трансформаторов и аппаратов, сопротивлений, реостатов и т. п.) этот метод можно использовать, непосредственно измеряя их сопротивление.

Измерение частоты вращения

При испытательно-наладочных работах часто приходится измерять частоту вращения роторов электрических машин или других вращающихся элементов. Наиболее распространен способ измерения частоты вращения с помощью тахометров (стационарных и переносных).

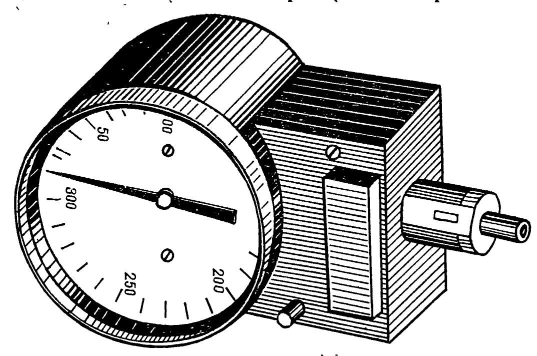


Рис. II.45. Общий вид центробежного тахометра типа ИО-30.

Тахометр ручной магнитный ИО-30 (рис. II.45) предназначен для эпизодического измерения частоты вращения валов различных машин. Конструкция тахометра основана на использовании вращающего момента, возникающего при вращении постоянного магнита в полом алю-

миниевом колпачке, в котором создаются вихревые токи. В корпусе прибора смонтированы редуктор с тремя диапазонами переключения и реверсивный механизм. Тахометр измеряет скорости в таких диапазонах: 30—300; 300—3000; 3000—30 000 об/мин.

Частоту вращения можно измерять также одним из следующих приборов: 1) счетчиком оборотов и пружинным секундомером; при этом средняя за промежуток времени скорость определяется как частное от деления числа оборотов на время; 2) тахоскопом — прибором, объединяющим в себе счетчик оборотов и секундомер; выпускаемые отечественной промышленностью тахоскопы имеют диапазон измерения 50—1000 об/мин; 3) вибрационным тахометром, «язычки» которого настраивают на частоты колебаний, соответствующие различным частотам вращения машины; 4) частотомером, связанным со вспомогательными синхронными машинами, приводимыми в движение от вала испытываемого агрегата, или непосредственно с испытываемой машиной; 5) тахогенератором — небольшой электрической машиной постоянного или переменного тока — со вторичными приборами (вольтметрами, градуированными в единицах частоты вращения).

Стробоскопический способ измерения частоты вращения заключается в том, что на вращающуюся деталь предварительно наносят метку, которую освещают прерывистым источником света (газосветной трубкой, лампой накаливания, перед которой вращается диск с отверстиями и т. п.). Частоту перерывов освещения контролируют и регулируют в нужных пределах. Изменяя частоту, добиваются такого положения, при котором метка на вращающейся детали кажется неподвижной (стробоскопический эффект); при этом частота перерывов равна частоте вращения детали.

Этот способ особенно эффективен при испытаниях маломощных машин, когда использование других способов, создающих заметные тормозные моменты, может влиять на частоту вращения.

Тахометр стробоскопический 2ТСт-32-456 предназначен для точных бесконтактных измерений частоты вращения или колебания движущихся частей машин и аппаратов и изучения их состояния во время движения; диапазон измерения от 250 до 32 000 об/мин; класс точности 0,5; напряжение питания 220 В; габаритные размеры электронного блока 340 × 280 × 150 мм; выносного осветителя 350 × 220 × 160 мм; масса 12 кг.

Тахометр электронный ТЭ30-5Р, диапазоны измерений: I — от 30 до 300 об/мин; II — от 300 до 3000 об/мин; III — от 3 000 до 300 000 об/мин; погрешность 1,5 %; питание автономное; тахометр состоит из первичного преобразователя (⌀ 55 × 187 мм; 0,4 кг) и измерителя (161 × 120 × 60 мм; 1 кг).

Измерение вибрации при работе электрических машин

Вибрацией называют колебания, имеющие сравнительно небольшую амплитуду и высокую частоту. Источником вибрации, как правило, являются вращающиеся машины, реже — аппараты. Величины, характеризующие вибрацию (амплитуда, частота, фаза), измеряют виброметрами и вибрографами различных типов. Мерой вибрации является двойная ее амплитуда, измеренная в сотых долях миллиметра или в микрометрах.

Виброметр с индикатором. Индикатор часового типа представляет собой систему связанных между собой рычагов и шестерен, усиливающих движения стержня и преобразующих их в показания прибора.

Обычно перемещение измерительного стержня индикатора на 1 мм соответствует одному полному обороту стрелки; цена деления и, следовательно, величина перемещения стержня, которую можно надежно измерить, соответствует 0,01 мм.

При измерении вибрации с помощью индикатора стрелка его совершает колебательные движения между двумя отметками циферблата (шкалы), разность которых представляет собой удвоенную амплитуду колебаний (вибрации). Значение удвоенной амплитуды колебаний нормируется действующими правилами и нормами.

Для более точного измерения вибрации индикатор помещают в инерционную массу, чаще всего — в массивное стальное или свинцовое кольцо. Именно так работают виброметры системы Харьковского турбогенераторного завода (ХТГЗ). Подобными виброметрами можно измерять вибрации с частотой, не превышающей 12 Гц (это соответствует частоте вращения приблизительно 750 об/мин).

Виброграф ВР-1А служит для записи кривой вибрации на ленте. Пределы измеряемых удвоенных амплитуд вибрации 0,005—6 мм, допустимые частоты 5—100 Гц (300—6000 об/мин). В виброграф встроен отметчик времени; интервал времени срабатывания отметчика 1 с. Виброграмма обрабатывается с помощью портативного микроскопа МПБ-2.

Виброметр ВИП-2 предназначен для измерения периодической вибрации работающего оборудования; рабочий диапазон частот от 10 до 1000 Гц; диапазон измерения действующих значений виброскорости от 0,1 до 100 мм/с; размах виброперемещений от 2 до 1000 мкм; погрешность измерения 15—25 %; виброметр состоит из виброизмерительного преобразователя Д-21А (⌀ 40 × 137,5 мм; 0,35 кг) и измерительного прибора ПИ-13 (215 × 120 × 90 мм; 2 кг); питание от четырех элементов 343, напряжение 6 В.

Виброметр ВМ-1 для измерения виброускорения, виброскорости, виброперемещения и размаха виброперемещения; рабочий диапазон частот от 1,4 до 8000 Гц; диапазон измерения: виброускорения от 10^{-3} до 10^{3} м/с^2; виброскорости $5 \cdot 10^{-2}$ — $15,8 \cdot 10^{3}$ мм/с; виброперемещения 0,25—$2,5 \cdot 10^{6}$ мкм; размаха виброперемещения 0,7—7 × × 10^{5} мкм; питание от сети 220 В или от батареи элементов 12 В; виброметр состоит из прибора ПИ-19 (358 × 295 × 190 мм, 10 кг) и преобразователей ДН-3 (27 × 31 × 24 мм; 0,06 кг), ДН-4 (18,8 × 17 × × 14 мм, 0,013 кг), ДН-5 (⌀ 28,5 × 23 мм; 0,04 кг).

Виброметр электрический балансировочный ЭВМ-БП2. Предназначен для измерения амплитуды вибросмещения в горизонтальной плоскости, величины и фазы неуравновешенности вращающихся частей двигателей и машин при их балансировании. Диапазон измерения амплитуды вибросмещения 20—500 мкм; рабочий диапазон частот 10—100 Гц; вибропрочность 150 м/с^2; погрешность измерения вибросмещения 10 %; погрешность определения углового положения неуравновешенности ± 5 %.

Комплекты приборов и приборы специального назначения

Переносный измерительный комплект К505 предназначен для измерения тока, напряжения и мощности в однофазных и трехфазных трехпроводных и четырехпроводных цепях переменного тока при равномерной и неравномерной нагрузках фаз, а также для определения порядка чередования фаз. Пределы измерения комплекта приведены в табл. II.10. При измерении токов, превышающих 10 А, используются

трансформаторы тока УТТ-5М. Класс точности приборов 0,5; нормальная область частот 40—65 Гц; расширенная — 65—500 Гц; габаритные размеры 505 × 330 × 190 мм; масса 19 кг. Общий вид комплекта приведен на рис. II.46.

Таблица II.10. **Пределы измерения комплекта К505**

Номинальный ток, А	Номинальная мощность для одной фазы (предельная), кВт, при номинальном напряжении, В						Примечание
	30	75	150	300	450	600	
0,5	0,015	0,0375	0,075	0,15	0,225	0,3	
1,0	0,03	0,075	0,15	0,3	0,45	0,6	
2,5	0,075	0,1875	0,375	0,75	1,125	1,5	
5	0,15	0,375	0,75	1,5	2,25	3,0	
10	0,3	0,75	1,5	3,0	4,5	6,0	
15	0,45	1,125	2,25	4,5	6,75	9,0	С трансформатором тока УТТ-5М
50	1,5	3,75	7,5	15,0	22,5	30,0	
100	3,0	7,5	15,0	30,0	45,0	60,0	
150	4,5	11,25	22,5	45,0	67,5	90,0	
200	6,0	15,0	30,0	60,0	90,0	120,0	
300	9,0	22,5	45,0	90,0	135,0	180,0	
600	18,0	45,0	90,0	180,0	270,0	360,0	

Переносный измерительный комплект К506 имеет то же назначение, что и комплект К505, но, кроме того, им можно измерять реактивную мощность в трехфазных трехпроводных электрических цепях. Пределы измерения комплекта приведены в табл. II.11. Класс точности 0,5; нормальная область частот 40—65 Гц; габаритные размеры 505 × × 330 × 190 мм; масса 19 кг.

Комплекты переносных приборов постоянного тока ЧК-1, ЧК-2 и ЧК-3 предназначены для измерения тока и напряжения в цепях постоянного тока.

Таблица II.11. **Пределы измерения комплекта К506**

Номинальный ток, А	Номинальная активная (кВт) и реактивная (квар) мощность при номинальном напряжении, В			
	100—125	250	375	600
1,0	0,2	0,4	0,6	1,0
2,5	0,5	1,0	1,5	2,5
5,0	1,0	2,0	3,0	5,0
10	2,0	4,0	6,0	10,0
25	5,0	10,0	15,0	25,0
100	20,0	40,0	60,0	100,0

В комплект ЧК-1 входят: милливольтметр типа М45М на 75 мВ; вольтметр на любой из пределов: 3 В; 3—15—150 В; 3—15—150—300 В; 15—150—450 В; 150—300—600 В; три шунта 75ШП на любой из пределов: 0,3—0,75 А; 1,5—7,5 А; 15—30 А; 75 А и 150 А; пара калиброванных проводников; чемодан; габаритные размеры 360 × 245 × × 85 мм; масса 4,5 кг.

Комплект ЧК-2 содержит: вольтметр М45М на пределы 75 мВ; 3—15—150 В; те же шунты, что и в комплекте ЧК-1; пару калиброванных проводников; чемодан. Габаритные размеры 290 × 254 × × 85 мм; масса 4,0 кг.

Комплект ЧК-3 состоит из таких элементов: двух милливольтметров М45М на 75—0—75 мВ; вольтметра М45М на 150—300—600 В; двух шунтов типа 75ШСМ на 500 А; шунта типа 75ШСМ на 1500 А;

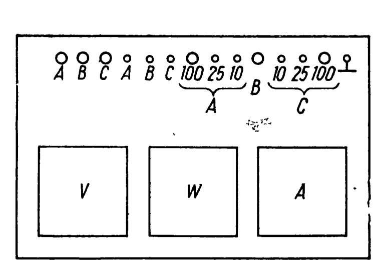


Рис. II.46. Общий вид переносного комплекта приборов К505.

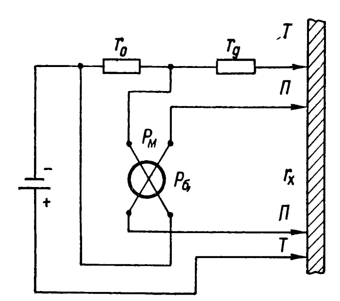


Рис. II.47. Схема микроомметра типа Ф415.

двух шунтов типа 75ШП на 15—30 А; двух пар калиброванных проводников; чемодана. Габаритные размеры 490 × 318 × 89 мм; масса 9,0 кг.

Микроомметр Ф415 (рис. II.47) предназначен для измерения малых сопротивлений (переходных сопротивлений контактов выключателей, разъединителей, шин, паек якорных обмоток и т. п.). В приборе использован логометр, одна рамка которого подключена параллельно образцовому сопротивлению, встроенному в прибор, вторая — измеряемому сопротивлению. Угол отклонения измерительной системы из двух жестко связанных рамок логометра, определяемый равенством вращающего и противодействующего моментов, пропорционален отношению токов в рамках логометра и зависит от измеряемого сопротивления. Проградуированный в единицах сопротивления, прибор показывает значение измеряемого сопротивления. Микроомметр снабжен комплектом щупов для подключения к нему измеряемого сопротивления. Подключение токовых (*Т*) и потенциальных (*П*) проводов к измеряемому сопротивлению осуществляется раздельно для предотвращения погрешностей, вызываемых переходными сопротивлениями контактов.

Пределы измерения микроомметра 100; 1000 мкОм; 10; 100; 1000 мОм; 10 Ом. Погрешность прибора не превышает 2,5—4,0 %. Питание осуществляется от аккумуляторов 6 В либо от сети переменного тока 220 В. Габаритные размеры 370 × 285 × 180 мм; масса 12 кг.

Мост переменного тока Р5026 предназначен для измерения емкости и тангенса угла диэлектрических потерь (tg δ) при частоте 50 Гц. Мост используется для измерения емкости и tg δ изоляции электротехнического оборудования. В комплект моста входят устройство защит-

ного потенциала Ф5122, образцовый конденсатор Р5023 емкостью 50 пФ на напряжение 3—10 кВ, блок конденсаторов Р5069 и трансформатор напряжения НОМ10 с номинальным напряжением 10 000/100 В. Мост предусматривает возможность измерения по «прямой» и «перевернутой» схеме; первая используется в случаях, когда оба электрода разделенных испытываемой изоляцией, не заземлены, вторая — когда один из электродов наглухо заземлен.

Пределы измерения, допустимые погрешности и рабочие напряжения моста Р5026 приведены в табл. II.12. Габаритные размеры моста Р5026 — 540 × 380 × 280 мм, устройства Ф4122 — 120 × 190 × × 195 мм и конденсатора Р5023 — ⌀ 320 × 550 мм; масса соответственно 22, 8 и 18 кг.

Таблица II.12. **Технические характеристики моста Р5026**

Пределы измерения		Допустимая погрешность измерения		Рабочее напряжение, кВ	Схема измерения
C, пФ	tg δ	C, %	tg δ		
10—1000	10^{-4} — 10^{-1}	$\pm\left(0{,}5+\frac{100}{C^*}\right)$	$\pm(0{,}01 \times \operatorname{tg}\delta + 2 \cdot 10^{-4})$	5—10	«Прямая» с Ф5122 и Р5069
100—10000	10^{-4} — 1,0	$\pm\left(0{,}5+\frac{50}{C^*}\right)$	$\pm(0{,}01 \operatorname{tg}\delta + 10^{-4})$	3—10	«Прямая» с Ф5122 и Р5069
10^4 — 2×10^4					
$2 \cdot 10^4$ — 10^5				3—5	«Прямая» с Ф5122
100—10 000	$5 \cdot 10^{-3}$ — 1,0	$\pm\left(2{,}5+\frac{50}{C^*}\right)$	$\pm(0{,}05 \operatorname{tg}\delta + 3 \cdot 10^{-3})$	3—10	«Прямая» и «перевернутая»
10^4 — 10^5					
10^5 — 10^6					
650 — $2 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^{-3}$ — 0,1	±2,5	$\pm(0{,}05 \operatorname{tg}\delta + 3 \cdot 10^{-3})$	⩽ 0,1	«Прямая»
6500 — 2×10^6	$5 \cdot 10^{-3}$ — 1,0				
$2 \cdot 10^6$ — $5 \cdot 10^8$					

Примечание. C^* — числовое значение емкости, пФ.

Прибор для контроля влажности ПКВ7 применяют для оценки увлажненности изоляции силовых трансформаторов. Критерием увлажненности изоляции служит отношение емкости, измеренной при частоте 2 Гц, к емкости, измеренной при частоте 50 Гц (C_2/C_{50}), которое отсчитывается по шкале прибора ПКВ7. Прибором можно измерять влажность на объектах с емкостью 1000—50 000 пФ. Сопротивление

изоляции должно быть не ниже 15 мОм, иначе погрешность определения отношения C_2/C_{50} может значительно возрасти. Прибор работает по принципу заряда и разряда емкости объекта измерений. Средний ток разряда при этом определяется компенсационным методом.

Вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85 (рис. II.48) предназначен для не очень точных, но быстрых измерений напряжения, тока (без разрыва цепи), угла сдвига фаз при наладке релейной защиты. Прибором можно легко и удобно определять порядок чередования фаз, измерять ток небаланса дифференциальных защит, снимать векторные диаграммы.

Технические характеристики прибора ВАФ-85: пределы измерения напряжения 1; 5; 125 и 250 В; пределы измерения тока с помощью токосъемной клещевой приставки 1; 5 и 10 А; пределы измерения тока небаланса (без клещевой приставки) 10; 50 и 250 мА; входное сопротивление на всех пределах напряжения 2500 Ом/В; основная погрешность по току и напряжению ± 5 %; по углу ± 5°.

Падение напряжения и сопротивление прибора при измерении токов небаланса:

Предел, мА	Падение напряжения, мВ	Сопротивление, Ом
10	40	4,2
50	10	0,2
250	4,5	0,018

Прибор универсален, портативен, удобен, масса 5 кг. Широко используется в наладочных работах.

Угол сдвига фаз между током и напряжением можно измерять с помощью механического выпрямителя (МВ), включенного последовательно с измерительным прибором (П), и заторможенного сельсина, работающего в качестве фазорегулятора (ФР). От положения ротора сельсина, связанного механически с лимбом прибора, зависит фаза напряжения, подаваемого на обмотку механического выпрямителя, а следовательно, и моменты замыкания и размыкания его контактов относительно фазы подаваемого на них тока. Таким образом, при повороте ротора сельсина изменяется среднее значение выпрямленного напряжения, а следовательно, и показания измерительного прибора. Прибор проградуирован так, что при подаче в качестве измеряемого напряжения фаз A и B ток в измерительном приборе равен нулю при совпадении нуля лимба с чертой (110 В или 220 В в зависимости от того,

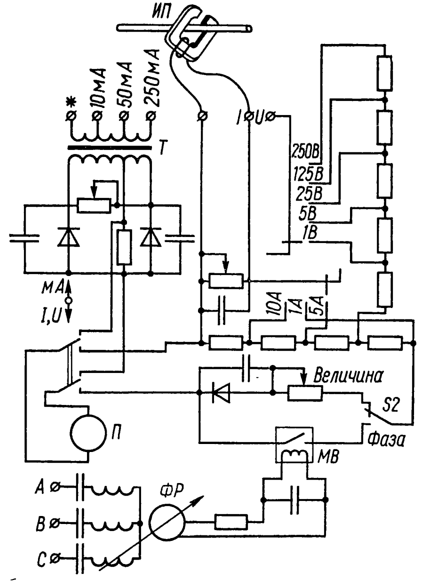


Рис. II.48. Схема вольтамперфазоиндикатора типа ВАФ-85.

какое напряжение подано на зажимы A, B и C прибора). Эта особенность может быть использована для проверки исправности прибора. Для этого необходимо поставить перемычки между зажимами A и B и зажимами для подключения измеряемого напряжения; показания измерительного прибора должны быть равны нулю, а нуль лимба должен совпадать с чертой прибора.

При любом другом напряжении (или токе) значение его фазы относительно напряжения фаз A и B определится делением лимба против черты в новом его положении, при котором ток в измерительном приборе также равен нулю. Для определения угла сдвига лимб следует поворачивать так, чтобы направление движения стрелки прибора к нулю совпало с направлением вращения лимба. Перед измерением углов сдвига фаз необходимо проверить чередование фаз, подведенных к зажимам A, B и C прибора. Для этого отпускается рычаг, тормозящий лимб, который начинает вращаться вместе с ротором сельсина. Направление вращения лимба по часовой стрелке соответствует правильному подключению фаз к зажимам прибора. В противном случае необходимо переключить провода в любых двух фазах.

При измерениях токосъемной клещевой приставкой сторона приставки, отмеченная звездочкой, должна быть обращена к генераторному концу провода с измеряемым током. Вилку приставки вставляют в гнезда прибора, соблюдая обозначенную на них полярность. Измеряя фазу напряжения, к зажиму прибора, отмеченному звездочкой, присоединяют провод, соответствующий условно принятому началу вектора напряжения. Небольшое внутреннее сопротивление прибора на малых пределах измерения тока позволяет использовать прибор для измерения токов небаланса в схемах релейной защиты.

Использование осциллографов при наладочных работах

При наладочных испытаниях электроприводов, генераторов, воздушных выключателей и другого оборудования осциллографы позволяют осуществлять визуальное наблюдение и запись переменных во времени электрических процессов или неэлектрических величин, преобразованных в электрические.

В наладочной практике применяется выпускавшийся ранее приборостроительной промышленностью магнитоэлектрический осциллограф Н-102. *Переносный восьмиканальный осциллограф Н-102* позволяет одновременно записывать на пленку до восьми процессов. Для визуального наблюдения электрических процессов в осциллографе имеются зеркальный барабан и экран. Ширина пленки 35 мм. Скорость движения пленки от 1 до 5000 мм/с. Максимальная длина осциллограммы с нормальными кассетами 10 м. В осциллографе предусмотрена возможность: записи двух нулевых линий; предварительной установки длины кадра в пределах от 0,1 до 5 м; автоматического включения и выключения внешней цепи во время записи; дистанционного управления съемкой; замены одного из вибраторов (осциллографических гальванометров) отметчиком времени с частотой синусоидальных отметок 500 Гц (питание отметчика времени осуществляется от внутренней схемы осциллографа). Осциллограф имеет счетчик, указывающий запас пленки в питающей кассете, и индикатор движения пленки. Напряжение питания 220 или 127 В переменного тока или 24 В постоянного тока. Потребляемая мощность не более 100 Вт (рис. II.49).

В осциллографе используются осциллографические гальванометры (вибраторы) магнитоэлектрической системы. Осциллографический

гальванометр имеет постоянный магнит, в поле которого натянута петля или закреплена рамка с зеркальцем. При прохождении тока по петле или по рамке зеркальце поворачивается на определенный угол и отклоняет падающий на него луч света от помещенного в осциллографе осветителя. Оптическая система осциллографа позволяет авто-

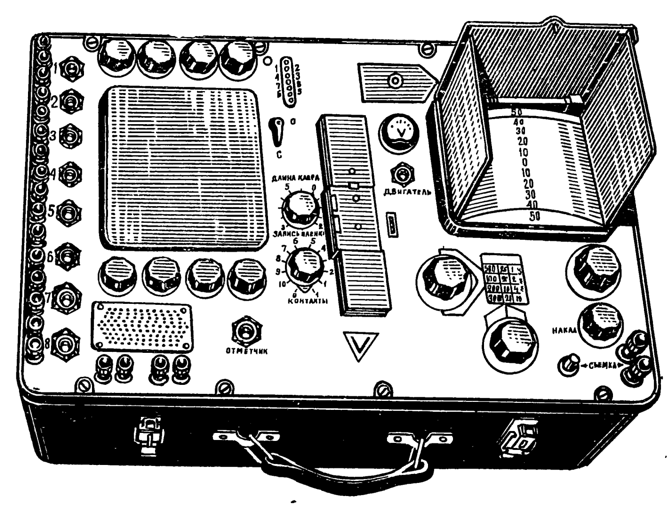


Рис. II.49. Внешний вид осциллографа Н-102.

матически фокусировать отражение луча от зеркальца гальванометра на пленку или на экран для визуального наблюдения.

В табл. II.13 и II.14 приведены характеристики гальванометров, применяемых в осциллографах.

Таблица II.13. **Технические характеристики гальванометров типов Н135 и МОВ2**

Тип	Частота собственных колебаний, Гц	Рабочая полоса частот, Гц	Чувствительность, мм/мА	Сопротивление, Ом	Допустимая амплитуда тока, мА
МОВ2-IX	400	0—200	60	55	0,4
МОВ2-X	200	0—100	250	55	0,1
Н135-0,6	1000	0—600	13	9	2
Н135-0,9	1500	0—900	5	9	5
Н135-1,5	2500	0—1500	1,5	9	16
Н135-2	4000	0—2000	0,5	4	50
Н135-3	6000	0—3000	0,25	4	100
Н135-6	12000	0—6000	0,04	2	250

Вибраторы выбирают по частоте исследуемого процесса и максимально допустимому току. Собственная частота вибратора по меньшей мере должна быть в три-четыре раза больше частоты исследуемого про-

Таблица II.14. **Технические характеристики гальванометров мощности типа Д1**

Тип	Частота собственных колебаний, Гц	Чувствительность, мм/мА	Сопротивление, Ом	Сопротивление обмотки электромагнита, Ом		Допустимое действующее значение тока	
				постоянному току	переменному току	в петле, мА	в обмотке электромагнита, А
Д1-XI	2200	100	7	0,07	0,15	20	5
Д1-XII	2200	1000	7	0,2	17	20	0,5

цесса. По току вибратор выбирают так, чтобы амплитудное значение тока в цепи вибратора не превосходило максимально допустимой для данного вибратора амплитуды тока. Поскольку обычно амплитуда осциллографируемого тока превосходит допустимое для вибратора значение, для ограничения тока в цепи вибратора используют добавочные сопротивления и шунты. Пределы измерений тока и напряжения вибраторов можно расширить, использовав магазины добавочных сопротивлений и шунтов типа Р-155, Р-156, Р-157. В первом из них три секции шунтов и три секции добавочных сопротивлений, во втором — шесть секций шунтов и в последнем — шесть секций добавочных сопротивлений. Схемы включения вибраторов с шунтами для осциллографирования токов приведены на рис. II.50.

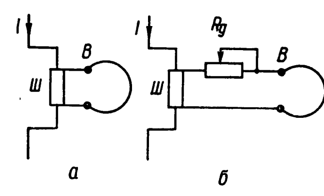


Рис. II.50. Схема включения вибраторов с шунтами:
В — вибратор; *Ш* — шунт; $R_д$ — добавочное сопротивление.

Порядок выбора шунта покажем на примере. Требуется осциллографировать пусковой ток электродвигателя с номинальным током 100 А и кратностью пускового тока, равной пяти. Коэффициент трансформации ТТ 100/5. Для записи выбран вибратор Н135-0,9 с допустимым током 5 мА и внутренним сопротивлением 9 Ом.

Амплитудное значение вторичного тока при пуске $I_п = 1{,}41 \times \times 25 = 35{,}25$ А. Падение напряжения на шунте в начальный момент пуска не должно превышать $5 \cdot 9 = 45$ мВ. Отсюда сопротивление шунта $R_ш = \frac{0{,}045}{35{,}25} = 0{,}00128$ Ом. Шунт на 75 мВ имеет сопротивление 0,00128 Ом при токе $I_ш = \frac{0{,}075}{0{,}00128} = 58{,}5$ А. Может быть использован стандартный шунт на 75 А, 75 мВ. Если есть шунт 50 А, 75 мВ, то необходимо включить добавочное сопротивление (рис. II.50, *б*), которое можно определить следующим образом. Падение напряжения на шунте 50 А, 75 мВ при токе 35,25 А составит $\frac{35{,}25}{50} \cdot 75 = 52{,}8$ мВ. При допустимом токе вибратора 5 мА общее сопротивление цепи вибратора должно быть не менее $\frac{52{,}8}{5} = 10{,}6$ Ом, следовательно, добавочное сопротивление $R_д \geqslant 10{,}6—9$, т. е. не меньше 1,6 Ом.

При осциллографировании кривых, амплитуда которых не может быть предварительно определена, вибратор следует зашунтировать регулируемым сопротивлением и постепенно увеличивать сопротивление, наблюдая на экране за амплитудой кривой.

Для количественной оценки осциллограмм перед осциллографированием вибратор градуируют в полной схеме вместе с шунтами и добавочными сопротивлениями подачей напряжения или тока, фиксируемых прецизионными приборами. Градуировочные записи на пленке используются в качестве масштаба при расшифровке осциллограмм.

Нулевые линии, необходимые для анализа осциллограмм, получают с помощью свободных вибраторов.

Для оценки времени при анализе осциллограмм в осциллографе имеется отметчик времени с частотой синусоидальных отметок 500 Гц. Кроме того, можно использовать один из вибраторов, на который подается напряжение частотой 50 Гц. По синусоиде этого напряжения может быть определено время любого участка осциллограммы.

Скорость передвижения пленки лучше всего отрегулировать путем предварительного наблюдения за процессом на экране осциллографа. Можно также установить скорость путем подсчетов или на основании предшествующих съемок.

В последние годы отечественной промышленностью освоен выпуск серии *светолучевых осциллографов с ультрафиолетовой и фотографической записью*. При ультрафиолетовой записи применяется фотолента (бумага УФ), не требующая химического проявления изображения. В табл. II.15 приведены технические характеристики современных светолучевых осциллографов, в табл. II.16 — характеристики гальванометров для них. Осциллографы снабжены магнитными блоками, так что гальванометры содержат только токопроводящую петлю с зеркальцем.

Осциллографы Н115, Н117 и Н117/1 комплектуются отдельным блоком питания П133, габаритные размеры которого составляют 205 × 265 × 390 мм; масса 17 кг. В комплект осциллографов входят избиратели пределов Р009 и Р010, предназначенные для выбора диапазона регистрации тока или напряжения, динамического и статического режима работы осциллографического гальванометра и защиты его от токовых перегрузок. Избиратель пределов совместно с гальванометром составляет канал регистрации осциллографа. Габаритные размеры избирателя пределов 80 × 147 × 321 мм; масса 2 кг. Диапазон собственных частот гальванометров для избирателя Р009 составляет 20—450 Гц, для избирателя Р010—600—10 000 Гц. Коэффициент передачи по постоянному току у Р009 составляет 1, 10, 100 и 1000; у Р010 — 1, 10, 100 и 500; максимальный входной ток у Р009 — 6, 60, 600 и 3000 мА; у Р010 — 100, 1000, 3000 и 5000 мА; максимальное входное напряжение у Р009 — 6, 60, 300 и 600 В; у Р010 — 5, 50, 250 и 500 В. Погрешность коэффициента передачи 2,5 % (на четвертом диапазоне по току 6 %).

При необходимости используется преобразователь мощности П030, предназначенный для получения напряжения, пропорционального мощности, потребляемой в цепях постоянного, выпрямленного и переменного (однофазного и трехфазного) токов. Характеристики преобразователей мощности исполнения П030.1, П030.2 и П030.3 приведены в табл. II.17.

Область применения магнитоэлектрических осциллографов ограничена частотами 5—10 кГц из-за инерционности вибраторов. При более высоких и более низких частотах широко используются электронные осциллографы, позволяющие наблюдать процесс на экране без записи на пленку.

Таблица II.15. **Технические характеристики светолучевых осциллографов**

Тип	Количество каналов	Предельная скорость записи, м/с			Типы используемых гальванометров	Скорость перемещения фотоленты, мм/с	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
		с ртутной лампой		с лампой накаливания				
		без проявления	с проявлением					
К121	18	2000	2600	180	М010, М014, М017, М1005, М1015	От 0,5 до 10 000	810×1100××510	110
Н115	12	2000	2600	180	М0010, М014, М017, М1015	От 0,5 до 10 000	535×290××320	35
Н125	12 и 24	2000	2500	180	М010, М014, М1005, М1015, М1017	От 0,1 до 10 000	360×310××473	46
Н043.1	12	1000	—	—	М014, М017, М018	От 1 до 5000	480×286××476	45
Н043.2	24	1000	—	—	М040, М041	От 1 до 5000	480×286××476	45
Н043.3	6	1000	—	—	М014, М017, М021, М022, М024, М026, М031	От 1 до 5000	480×286××476	45
Н117	12	2000	2600	180	М010, М014, М017, М1005, М1015	От 0,5 до 10 000	535×290××320	33
Н117/1	18	2000	2600	180	М010, М014, М017, М1005, М1015	От 0,5 до 10 000	535×290××320	33

Таблица II.16. **Технические характеристики осциллографических гальванометров**

Тип	Исполнение	Область частот, Гц	Чувствительность к току, мм/(мА · м)	Внутреннее сопротивление, Ом	Максимальный ток, мА
М010	М010-20	0—12	$(6 \div 7{,}5)\,10^4$	150	0,007
	М010-40	0—24	$(1{,}4 \div 1{,}75)\,10^4$	150	0,027
	М010-80	0—48	$(0{,}7 \div 0{,}875)\,10^4$	70	0,060

Тип	Исполнение	Область частот, Гц.	Чувствительность к току, мм/(мА · м)	Внутреннее сопротивление, Ом	Максимальный ток, мА
М014	М014-1200	0—750	30—36	21	10
	М014-2500	0—1600	6—7,2	21	50
	М014-3500	0—2200	2,5—3	21	85
	М014-7000	0—5000	0,7—0,85	23	90
	М014-10000	0—7000	0,6—0,72	18	90
М017	М017-150	0—115	$(4 \div 4{,}6)\ 10^4$	45	0,1
	М017-300	0—225	$(0{,}81 \div 0{,}98)\ 10^4$	30	0,4
	М017-400	0—300	$(0{,}45 \div 0{,}54)\ 10^4$	30	1,0
М1005	М1005-600	0—300	80	50	5
	М1005-1200	0—600	20	50	15
	М1005-2500	0—1250	4	50	50
М1012	М1012-600	0—300	45	13	8
	М1012-1200	0—600	60	5	20
	М1012-1800	0—900	1,4	2	50

Таблица II.17. **Технические характеристики преобразователей мощности**

Исполнение	Род тока	Номинальные значения входных параметров			Входное напряжение, мВ
		Ток, А	Напряжение, В	Частота, Гц	
П030.1	Переменный	1; 5; 10; 25	100; 380	50	15
П030.2	Постоянный	1; 5	100; 250	—	15
П030.3	Переменный	1; 1,5; 2; 2,5	40; 100	1000	3

Промышленность выпускает *электронные осциллографы* как специальные, так и общего назначения. Независимо от специфических особенностей они имеют основные узлы: 1) электронно-лучевую трубку для преобразования исследуемого электрического сигнала в визуальное изображение на экране; 2) генератор развертки, формирующий напряжение, необходимое для временной развертки луча; 3) усилитель вертикального отклонения, повышающий чувствительность осциллографа; 4) цепи синхронизации для получения устойчивого неподвижного изображения исследуемого сигнала на экране электронно-лучевой трубки.

На экране однолучевого осциллографа можно одновременно наблюдать два независимых процесса. Для этого применяют электрон-

Таблица II.18. **Технические характеристики универсальных электронных осциллографов**

Тип	Полоса пропускания, МГц	Время нарастания переходной характеристики, нс	Минимальный коэффициент отклонения, мВ/см	Исследуемые сигналы		Погрешность измерения, %		Диапазон развертки, мкс/см	Масса
				амплитуда, В	временные интервалы, мкс	амплитуды	временных интервалов		
С1-40	0—20	—	50	0,2—100	$0,05 — 10^5$	2	2; 10	$0,02 — 10^5$	57
С1-48Б	0—1	—	2	0,004—200	$\geqslant 6$	10	10	$2 — 2 \cdot 10^6$	20
С1-49	0—5,5	—	17	0,02—300	$0,4 — 10^5$	10	10	$0,066 — 8 \cdot 10^4$	8,5
С1-55 двухлучевой	—	35	170	0,03—140	$0,2 — 2 \cdot 10^5$	10	10	$0,17 — 33 \cdot 10^3$	15
С1-57	0—15	—	12,5	0,03—50	$0,08 — 2 \cdot 10^5$	5; 7	5	$0,12 — 25 \cdot 10^3$	25
С1-59	0—1	—	2	0,004—250	5	10	10	$1 — 10^6$	21
С1-64	—	7	6,2	0,01—60	$0,04 — 10^7$	5	5	$0,12 — 1,25 \cdot 10^6$	19
С1-65	—	14	6,25	0,015—60	0,05	6	6	$0,012 — 62 \cdot 10^3$	16
С1-65А	—	14	12,5; 6,25	0,015—60	0,035	6	6	$0,012 — 62 \cdot 10^3$	16
С1-67	0—10		16,6	0,028—140	$0,4 — 2 \cdot 10^5$	10	10	$0,17 — 33 \cdot 10^3$	10
С1-68	0—1	—	1	0,002—300	$2 — 16 \cdot 10^6$	10	10	$2 — 2 \cdot 10^3$	14
С1-69	0—5	—	1	0,004—200	$0,8 — 5 \cdot 10^7$	5	2,5	$0,2 — 5 \cdot 10^6$	17
С1-70А	—	7	12,5	0,03—200	$30 — 10^6$	5	5	$0,012 — 12 \cdot 10^7$	28,5
С1-71	—	3,5	6,25	0,01—60	$0,02 \cdot 10^6$	5	8	$0,06 — 12 \cdot 10^4$	19
С1-72	—	35	33,3	0,04—500	$0,2 — 5 \cdot 10^4$	10	10	$0,08 — 8 \cdot 10^4$	8,5
С1-73	—	70	17	0,02—350	$0,4 — 0,5 \cdot 10^6$	10	10	$0,17 — 8 \cdot 10^4$	4,5
С1-94	—	35	20	0,01—300	$0,1 — 0,5 \cdot 10^6$	10	10	$0,2 — 10^5$	3,5
С8-11 двухлучевой запоминающий	0—1	—	10	0,025—300	$2 — 25 \cdot 10^7$	10	10	$0,5 — 25 \cdot 10^6$	50

ные коммутаторы (переключатели), подключающие осциллограф поочередно к обоим исследуемым напряжениям.

В табл. II.18 приведены технические характеристики некоторых электронных осциллографов. На рис. II.51 приведен общий вид осциллографа С1-65.

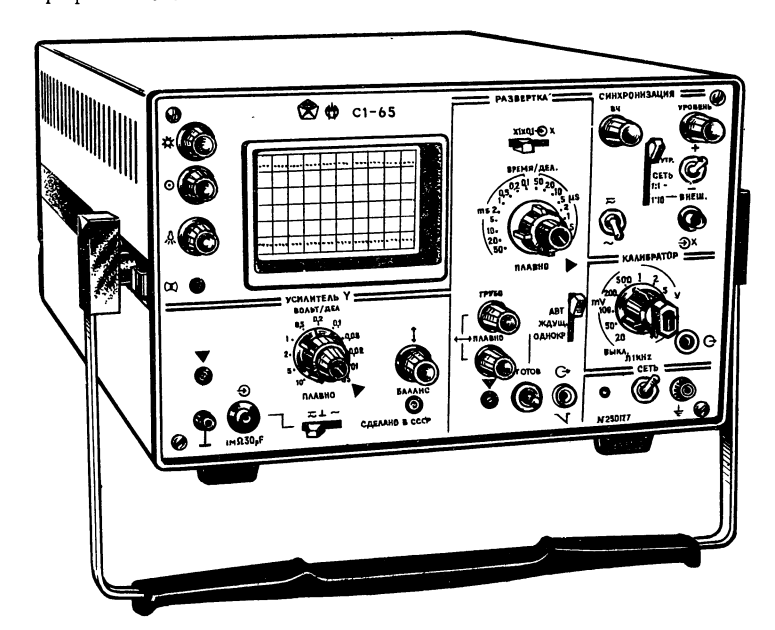


Рис. II.51. Внешний вид электронного осциллографа С1-65.

Измерители параметров полупроводниковых приборов

Измеритель h-параметров маломощных транзисторов Л2-22/1. Рабочая частота 800 Гц; пределы измерения в схеме с общей базой: $h_{11} = 3 \div 300$ Ом; $1 - h_{21B} = 0{,}003 \div 0{,}3$; $h_{12B} = 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$; $h_{22B} = 10^{-7} \div 10^{-5}$ См; пределы измерения с общим эмиттером: $h_{11e} = 0{,}1 \div 100$ кОм; $1 + h_{21e} = 10 \div 1000$; $h_{12e} = 10^{-4} \div 3 \cdot 10^{-3}$; $h_{22e} = 10^{-5} \div 3 \cdot 10^{-4}$ См; пределы измерения обратных токов 0,03—100 мкА, погрешность измерения ± 5 %; питание от сети переменного тока частотой 50 Гц, напряжением 220 В. Габаритные размеры 491 × 216 × 462 мм, масса 18 кг.

Измеритель интегральных схем Л2-41 предназначен для определения годности интегральных логических схем, с количеством выводов до 16, путем их проверки на выполнение логических функций; диапазон измеряемых сигналов ± (0,1—30)В; погрешность ± 4 %; питание от 10 элементов 373 общим напряжением 15 В; габаритные размеры 300 × 203 × 165 мм; масса 5,5 кг.

Измеритель параметров мощных транзисторов Л2-42. Пределы измерений $h_{21E} + 1 = 5 \div 500$; обратные токи 1— 3 · 10⁴ мкА; пита-

ние от сети переменного тока. Габаритные размеры 256 × 356 × × 491 мм; масса 23 кг.

Испытатель линейных интегральных схем Л2-47 предназначен для определения работоспособности схем с количеством выводов до 16; пределы измерений: постоянного напряжения 0 ÷ ±30 В; постоянного тока 0,3—30 мА; напряжений входных воздействий 0 ÷ ± 30 мВ; входных токов 0,3—30 мкА; коэффициента усиления $30—10^4$; погрешность ± 5; ± 10 %; питание от сети переменного тока. Габаритные размеры 300 × 200 × 180 мм; масса 7 кг.

Испытатель параметров электронных ламп Л3-3 предназначен для измерений основных параметров и снятия статических характеристик приемоусилительных, генераторных ламп, кенотронов, диодов и стабилитронов; пределы измерения напряжений: анода — 15; 75; 150; 300 В; экранной сетки — 75; 150; 300 В; управляющей сетки — 1,5; 3; 7,5; 15; 30; 75 В; накала — 3; 7; 5; 15 В; питание цепей 300 В; пределы измерения токов: анода — 1; 5; 3; 7,5; 15; 30; 75; 150 мА; экранной сетки — 0,75; 1,5; 3; 7,5; 15 мА; выпрямленного — 150; 300 мА; обратного — 0,75; 3; 15; 30; 150 мА; погрешность 1,5; 2,5 %; питание от сети переменного тока. Габаритные размеры 515 × 320 × × 230 мм; масса 22 кг.

Глава III

ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Виды испытаний электрооборудования

Цель испытаний электрооборудования — проверка соответствия требуемым техническим характеристикам, установление отсутствия дефектов, получение исходных данных для последующих профилактических испытаний, а также изучение работы оборудования. Различают следующие виды испытаний: 1) типовые; 2) контрольные; 3) приемосдаточные; 4) эксплуатационные; 5) специальные.

Типовые испытания нового оборудования, отличающегося от существующего конструкцией, материалами или технологическим процессом, принятым при его изготовлении, выполняются заводом-изготовителем с целью проверки соответствия всем требованиям, предъявляемым к оборудованию данного типа стандартами или техническими условиями.

Контрольным испытаниям подвергается каждое изделие (машина, аппарат, прибор и т. д.) при выпуске с завода-изготовителя для проверки соответствия выпускаемого изделия основным техническим требованиям. Контрольные испытания выполняются по сокращенной (по сравнению с типовыми испытаниями) программе.

Приемосдаточным испытаниям подвергается по окончании монтажа все вновь вводимое в эксплуатацию оборудование для оценки пригодности его к эксплуатации.

Оборудование, находящееся в эксплуатации, в том числе вышедшее из ремонта, подвергается эксплуатационным испытаниям, целью которых является проверка его исправности. Эксплуатационными являются испытания при капитальных и текущих ремонтах и профилактические испытания, не связанные с выводом оборудования в ремонт.

Специальные испытания проводятся для исследовательских и других целей по специальным программам.

Программы (а также нормы и методы) типовых и контрольных испытаний установлены ГОСТами на соответствующее оборудование. Объем и нормы приемосдаточных испытаний определены «Правилами устройства электроустановок». Эксплуатационные испытания проводятся в соответствии с «Нормами испытаний электрооборудования» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей». В процессе приемосдаточных и эксплуатационных испытаний необходимо дополнительно учитывать требования заводских и ведомственных инструкций.

Определенная часть испытательных работ является общей при наладке различных элементов электроустановок. К таким работам относятся проверка схем электрических соединений, проверка и испытание изоляции и др. В этой главе рассмотрены только общие вопросы проведения этих испытаний; специфические особенности наладки отдельных видов оборудования освещены в других главах.

Проверка схем электрических соединений

Проверка схем электрических соединений предусматривает: 1) ознакомление с проектными схемами коммутации как принципиальными (полными), так и монтажными, а также кабельным журналом; 2) проверку соответствия установленного оборудования и аппаратуры проекту; 3) осмотр и проверку соответствия смонтированных проводов и кабелей (марки, материала, сечения и др.) проекту и действующим правилам; 4) проверку наличия и правильности маркировки на оконцевателях проводов и жил кабелей, клеммниках, выводах аппаратов; 5) проверку качества монтажа (надежности контактных соединений, укладки проводов на панелях, прокладки кабелей и т. п.); 6) проверку правильности монтажа цепей (прозвонку); 7) проверку схем электрических цепей под напряжением.

Цепи первичной и вторичной коммутаций проверяют в полном объеме при приемосдаточных испытаниях после окончания монтажа электроустановки. При профилактических испытаниях объем проверки коммутации значительно сокращается. Обнаруженные в процессе проверки ошибки монтажа или другие отступления от проекта устраняют наладчики или монтажники (в зависимости от объема и характера работы).

Принципиальные изменения и отступления от проекта допустимы только после согласования их с проектной организацией. Все изменения должны быть показаны на чертежах.

Проверка правильности монтажа (прозвонка)

Правильность монтажа в пределах одной панели, шкафа, аппарата иногда может быть проверена визуально прослеживанием проводов. Во всех остальных случаях правильность монтажа цепей определяют прозвонкой.

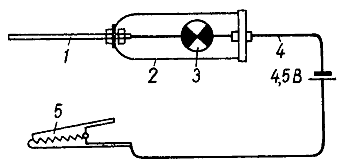


Рис. III.1. Простейшее прозвоночное устройство:

1 — щуп из медной проволоки диаметром 2—4 мм, длиной 50—60 мм; *2* — пластмассовый прозрачный футляр; *3* — лампочка на напряжение 2—6 В; *4* — соединительные провода; *5* — зажим типа «крокодил».

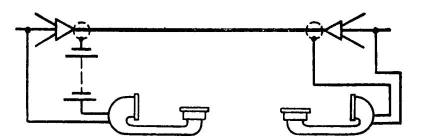


Рис. III.2. Схема прозвонки кабеля с помощью микротелефонных трубок.

В пределах одной панели, шкафа прозвонка цепей может осуществляться с помощью простейшего прозвоночного устройства (рис. III.1). Устройства такого типа легко изготовить на месте проведения наладочных работ. В прозвоночных устройствах с лампочкой заметно искрение при размыкании цепи, содержащей катушку с железным сердечником; по искрению и судят об исправности катушки (отсутствие обрывов и витковых замыканий).

Более совершенное прозвоночное устройство содержит миниатюрный магнитоэлектрический прибор. Если он градуирован в омах, устройство становится по существу омметром.

При прозвонке цепей на панели или коротких отрезков кабелей, не выходящих за пределы одного помещения, можно пользоваться

также понижающим трансформатором (220/12 В) с лампой или мегомметром. Длинные отрезки кабеля, концы которых расположены в разных помещениях, лучше всего прозванивать с помощью двух микротелефонных трубок. Телефоны и микрофоны обеих трубок соединяют в последовательную цепочку с источником постоянного напряжения

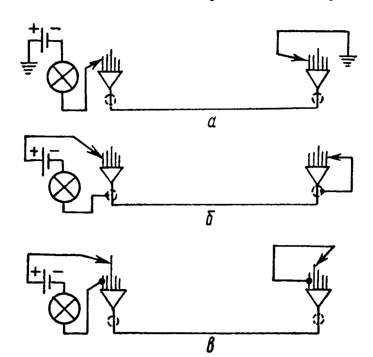


Рис. III.3. Схема прозвонки длинного кабеля пробником:

а — при поочередном заземлении жил на удаленном конце; *б* — при использовании металлической оболочки кабеля в качестве обратного провода; *в* — при использовании одной из жил в качестве обратного провода.

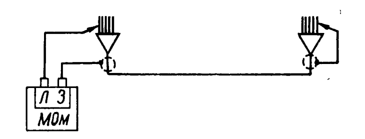


Рис. III.4. Схема прозвонки длинного кабеля мегомметром.

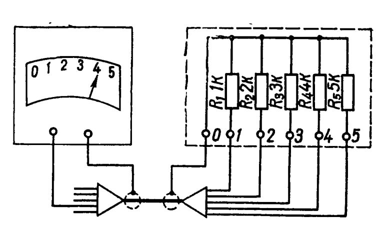


Рис. III.5. Схема прозвонки длинного кабеля жилоискателем.

3—6 В (сухие элементы или аккумуляторы) через прозваниваемую и вспомогательную жилы кабеля. В качестве обратного провода могут быть использованы металлическая оболочка кабеля либо заземленные конструкции. Порядок прозвонки по схеме, приведенной на рис. III.2 (с использованием оболочки кабеля в качестве обратного провода), таков.

1. С обеих сторон отсоединяют все жилы проверяемого кабеля.

2. Проверяют изоляцию всех жил кабеля между собой и относительно земли.

3. Два наладчика, находясь на разных концах кабеля, присоединяют трубки к оболочке и находят условную первую жилу. По предварительной договоренности один из наладчиков («ведущий») присоединяет трубку к жиле, а второй («помощник») поочередно касается проводом трубки всех жил.

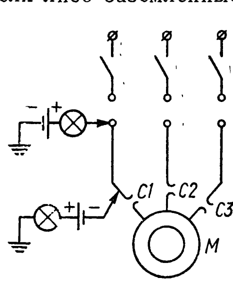
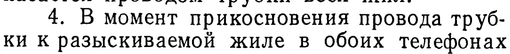


Рис. III.6. Схема прозвонки двумя пробниками.



4. В момент прикосновения провода трубки к разыскиваемой жиле в обоих телефонах слышен характерный шорох, свидетельствующий об образовании замкнутой цепи и о возможности ведения переговоров.

5. «Ведущий» сообщает «помощнику», какая маркировка должна быть на найденной жиле; при несоответствии маркировки в нее вносят коррективы.

6. Аналогично находят следующую жилу и устанавливают телефонную связь.

7. Ранее найденную жилу на обоих концах кабеля присоединяют клеммникам.

8. Аналогично прозванивают все остальные жилы кабеля.

Если количество прозваниваемых жил невелико, нет микротелефонных трубок или прозвонку проводит один человек, то можно воспользоваться схемами, приведенными на рис. III.3—III.5. Жилоискатель (рис. III.5) состоит из набора сопротивлений (1—5 кОм) и омметра, включаемых на разные концы кабеля. По значению измеренного на каждой жиле сопротивления проверяют ее маркировку.

Иногда прозвонку осуществляют два наладчика с помощью двух пробников (рис. III.6). В этом случае наличие лампочек на обоих концах кабеля позволяет пользоваться условным кодом и освобождает наладчиков от хождения для переговоров друг с другом. Однако перед прозвонкой необходимо проверить полярность пробников, так как при встречном их включении лампы гореть не будут.

Определение места повреждения контрольного кабеля

У длинных контрольных кабелей поврежденный участок целесообразно ремонтировать, а не заменять весь кабель. Методы определения места повреждения в кабельных сетях высокого напряжения (см. гл. XIV) в этом случае не всегда можно использовать.

Ниже приведен порядок определения места повреждения кабеля упрощенным методом.

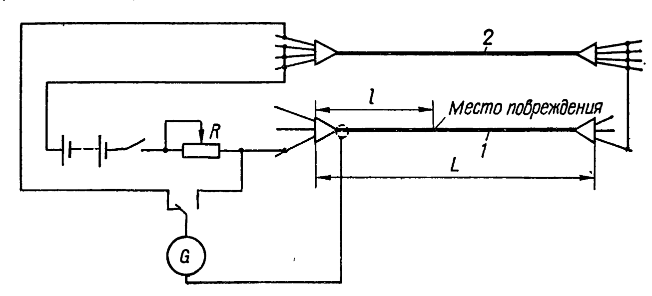


Рис. III.7. Схема определения места повреждения контрольного кабеля.

1. В поврежденном кабеле *1* выбирают жилу с наихудшей изоляцией и собирают схему согласно рис. III.7. Обратным проводом служит любой исправный кабель *2*, проложенный в том же месте, что и поврежденный. В нем выделяют одну контрольную жилу, подводимую к гальванометру *G*, а все остальные жилы включают параллельно для уменьшения сопротивления. Второй конец контрольной жилы присоединяют к поврежденному кабелю.

2. Проверяют гальванометром наличие напряжения на поврежденной и контрольной жилах. Часто в кабелях имеются постоянные наведенные ЭДС, для компенсации которых стрелку включенного гальванометра устанавливают на нуль. Если не удается установить стрелку на нуль, то при последующих измерениях отсчет по гальванометру ведут не от нуля, а от того деления шкалы, на котором останавливалась стрелка при измерении постороннего напряжения на жилах.

3. Включают рубильник; для получения максимального отклонения стрелки гальванометра реостатом R подбирают ток от батареи питания и вновь измеряют напряжение на поврежденной и контрольной жилах относительно земли (свинцовой оболочки испытываемого кабеля).

4. Определяют место повреждения кабеля по уравнению

$$l = \frac{U_п}{U_п + U_к} L,$$

где L — полная длина поврежденного кабеля; l — расстояние от места измерения до места повреждения по длине кабеля; $U_к$, $U_п$ — показания гальванометра соответственно на контрольной и поврежденной жилах.

Точность метода ± 2 м при полной длине кабеля 100—200 м. Гальванометр желательно иметь с чувствительностью примерно 0,5 мА на 1°. При сопротивлении изоляции поврежденного кабеля 0,5 МОм и меньше достаточно аккумуляторной батареи на 6—12 В. Менее чувствительные гальванометры и более высокое сопротивление изоляции кабелей требуют повышенного напряжения батареи.

Проверка схем вторичной коммутации под напряжением

Рассмотрим проверку под напряжением схем оперативных цепей (управления, защиты, автоматики, сигнализации, блокировки).

Методы проверки токовых цепей, цепей напряжения, цепей возбуждения приводятся в дальнейших главах (гл. VII, XI, XVIII).

Проверка схемы под напряжением проводится при отключенной силовой цепи после проверки правильности монтажа электрических цепей, настройки аппаратуры и испытания изоляции. Предварительно должны быть также проверены все контактные соединения на клеммниках и аппаратах (отверткой), а также полярность подаваемого напряжения.

При первой подаче оперативного напряжения следует убедиться, что в схеме нет короткого замыкания. Для этого устанавливается только один предохранитель, а вместо второго включается контрольная лампа. При отсутствии короткого замыкания лампа не горит или горит неполным накалом. Эта лампа должна иметь возможно меньшее внутреннее сопротивление (мощность лампы порядка 150—200 Вт). При подаче напряжения через лампу с большим внутренним сопротивлением на катушку реле с относительно небольшим сопротивлением накал лампы мало отличается от полного. После подачи оперативного напряжения проверяется четкость срабатывания, последовательность работы отдельных контактов, реле и других элементов и всей схемы в целом во всех режимах работы, предусмотренных схемой. Работа схем защиты, сигнализации, автоматики проверяется имитацией аварийных и ненормальных режимов работы оборудования путем замыкания от руки контактов реле защиты, технологических датчиков и т. д.

При проверке схемы под напряжением возможны случаи отказа в работе отдельных элементов и узлов схемы. Хотя повреждения и нарушения в схемах чрезвычайно многообразны, они могут быть отнесены к следующим основным видам: а) обрыв цепи; б) короткое замыкание; в) замыкание на землю; г) наличие обходной цепи; д) несоответствие требованиям схемы параметров или неисправность отдельных аппаратов, входящих в схему.

Все эти дефекты обнаруживаются далеко не сразу и могут иметь самые различные внешние проявления в зависимости от особенностей схемы. Только тщательный анализ схемы, продуманные проверки и опробования дают возможность быстро и эффективно выявить и устранить неисправность. Поскольку каждая неисправность в схеме требует специального анализа, методика определения неисправного элемента не может быть изложена в виде общего руководства, пригодного для всех возможных случаев.

На рис. III.8 приведена принципиальная схема управления масляным выключателем с пружинным приводом. В качестве примера рассмотрим простейший случай неисправности — нарушение цепи на блок-контактах выключателя *Q*. Внешний признак повреждения — не горит лампа *HLG*. Для выявления неисправного элемента следует: а) проверить вольтметром целость предохранителей; б) проверить вольтметром напряжение на лампе *HLG* (если на лампе с добавочным сопротивлением напряжения нет, то можно предположить обрыв в цепи включения); в) проверить целость нити сигнальной лампы (см. рис. III.8, *V1*); значительное отклонение стрелки вольтметра свидетельствует об обрыве цепи в приводе или в кабеле; г) проверить наличие цепи на контактах *Q* и *SQM* поочередным подключением вольтметра параллельно контактам *Q* и *SQM*. При подключении вольтметра параллельно контактам *SQM* (см. рис. III.8, *V2*) показания вольтметра равны нулю и, следовательно, контакты *SQM* замкнуты. Показания вольтметра, подключенного параллельно контактам *Q*, свидетельствуют о разрыве цепи на этих контактах.

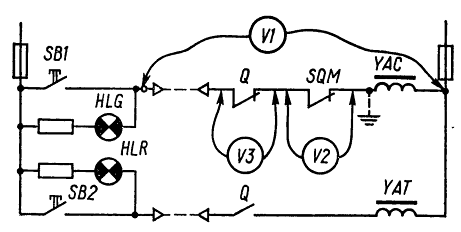


Рис. III.8. Определение неисправности в схеме с помощью вольтметра.

При проверке оперативных цепей следует, как правило, пользоваться высокоомным вольтметром, так как использование низкоомных приборов может привести к ложному срабатыванию аппаратов схемы. Так, в рассматриваемой схеме (при исправности цепи включения) подключение вместо вольтметра контрольной лампы параллельно сигнальной лампе *HLG* с добавочным сопротивлением может вызвать срабатывание катушки включения *YAC*, которая оказывается включенной последовательно с контрольной лампой, и, следовательно, самопроизвольное включение выключателя. Лампы накаливания можно применять только при проверке целости предохранителей и определении короткого замыкания в схеме. В таких случаях, например при замыкании на землю (пунктир), нажатие кнопки включения приводит к перегоранию предохранителей, так что определение повреждения описанным выше способом с помощью вольтметра не представляется возможным (сопротивление последовательно включенной катушки незначительно по сравнению с внутренним сопротивлением вольтметра). Для определения повреждения в схеме необходимо параллельно кнопке включения включить лампу накаливания, которая будет гореть в этом случае полным накалом.

Определение полярности обмоток

При наладке электрических машин, силовых и измерительных трансформаторов и другого оборудования часто возникает необходимость в проверке полярности обмоток и правильности маркировки их выводов. Полярность выводов обмоток (при заданном направлении магнитного потока) обусловливается направлением намотки витков обмоток, их взаимным расположением на магнитопроводе.

Если через одну из нескольких магнитосвязанных обмоток пропускать постоянный ток, то в каждой из обмоток индуктируется ЭДС. Направление таких ЭДС на остальных обмотках может быть определено магнитоэлектрическим прибором. Однополярными являются выводы обмоток, имеющие одинаковый знак ЭДС (при поочередном подключении одного и того же зажима прибора к однополярным выводам обмоток стрелка прибора отклонится в одном направлении). Если произвольно промаркировать выводы одной из обмоток и подключить к соответствующему выводу «+» источника тока, а на вторую обмотку подключить гальванометр таким образом, чтобы стрелка его отклонялась вправо при замыкании цепи источника тока (влево при размыкании цепи), то выводы обмоток, подключенные к «+» источника тока и «+» гальванометра, будут однополярными, так как знаки индуктируемых ЭДС на этих выводах одинаковые (в обмотке, подключенной к источнику напряжения, индуктируемая ЭДС направлена встречно ЭДС источника тока). Описанный принцип (рис. III.9) широко используется в практике наладочных работ для определения полярности обмоток и проверки правильности маркировки выводов. В качестве измерительных приборов используются невысокой чувствительности гальванометры и милливольтметры.

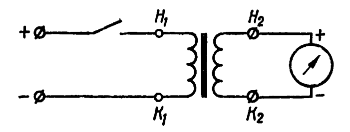


Рис. III.9. Схема проверки полярности выводов обмотки.

Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции постоянному току является основным показателем состояния изоляции, и его измерение является неотъемлемой частью испытаний всех видов электрооборудования и электрических цепей.

Нормы проверок и испытаний изоляции электрооборудования, определяемые ГОСТ, ПУЭ и другими директивными материалами, приведены в соответствующих главах.

Сопротивление изоляции практически во всех случаях измеряется мегомметром — прибором, состоящим из источника напряжения — генератора постоянного тока чаще всего с ручным приводом, магнитоэлектрического логометра и добавочных сопротивлений. Наиболее распространенными до настоящего времени являются мегомметры типов М1101м (рис. III.10) и МС-05.

Поскольку в мегомметрах есть источник постоянного тока, то сопротивление изоляции можно измерять при значительном напряжении (2500 В в мегомметрах типов МС-05, М4100/5 и Ф4100) и для некоторых видов электроаппаратуры одновременно испытывать изоляцию повышенным напряжением. Однако следует иметь в виду, что при подключении мегомметра к аппарату с пониженным сопротивлением изоляции напряжение на выводах мегомметра также понижается. На рис. III.11

и III.12 приведены нагрузочные характеристики мегомметров М1101 и МС-05. Напряжение на их выводах дано в процентах напряжения холостого хода, а сопротивление R для мегомметра М1101 — в процентах максимального измеряемого сопротивления по шкале. Технические характеристики мегомметров отечественного производства приведены в табл. III.1.

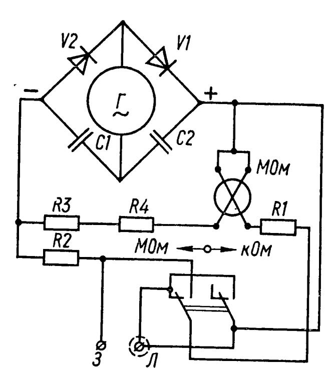


Рис. III.10. Схема мегомметра типа М1101.

Перед началом измерений необходимо убедиться, что на испытываемом объекте нет напряжения, тщательно очистить изоляцию от пыли и грязи и на 2—3 мин заземлить объект для снятия с него возможных остаточных зарядов. Измерения следует производить при устойчивом положении стрелки прибора; для этого нужно быстро, но равномерно вращать ручку генератора. Сопротивление изоляции определяется показанием стрелки прибора мегомметра. После окончания измерений испытываемый объект необходимо разрядить. Для присоединения мегомметра к испытываемому аппарату или линии следует применять раздельные провода с большим сопротивлением изоляции (обычно не меньше 100 МОм).

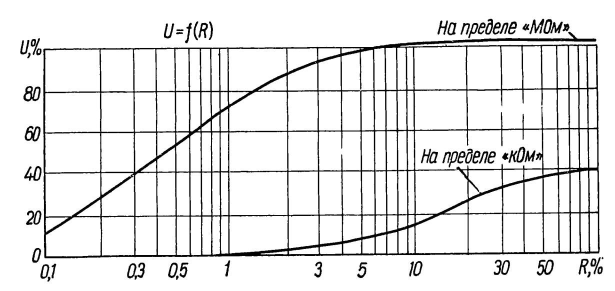


Рис. III.11. Нагрузочные характеристики мегомметра типа М1101.

Перед пользованием мегомметр следует подвергнуть контрольной проверке, которая заключается в проверке показания по шкале при разомкнутых и короткозамкнутых проводах. В первом случае стрелка должна находиться у отметки шкалы «бесконечность», во втором — у нуля.

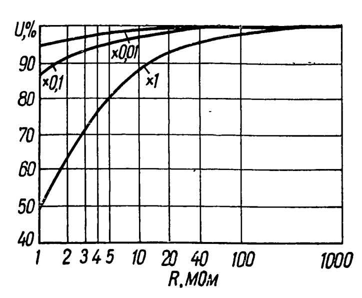


Рис. III.12. Нагрузочные характеристики мегомметра типа МС-05.

Для того чтобы на показания мегомметра не оказывали влияния токи утечки по поверхности изоляции, особенно при проведении измерений в сырую погоду, мегомметр подключают к измеряемому объекту с использованием зажима *Э* (экран) мегомметра (рис. III.13, *б* и *в*). При

Таблица III.1. **Технические характеристики мегомметров**

Тип	Номинальное напряжение, В	Пределы измерения сопротивления, МОм	Класс точности	Рабочая часть шкалы	Примечание
М1101м	100	0—100	1,0	0—200 кОм; 0,01—20 МОм	Частота вращения рукоятки генератора 120 об/мин
	500	0—500	1,0	0—1000 кОм; 0,05—100 МОм	
	1000	0—1000	1,0	0—1000 кОм; 0,2—200 МОм	
МС-05	2500	0—1000	1,5	1—1000 МОм	
		0—1000	1,5	0,1—100 МОм	
		0—100	1,5	0,01—10 МОм	
М1102/1	500	0—200	1,0	0—1000 кОм; 0—200 МОм	
М4100/1	100	0—20	1,0	0—200 кОм; 0—20 МОм	
М4100/2	250	0—50	1,0	0—500 кОм; 0—50 МОм	
М4100/3	500	0—100	1,0	0—1000 кОм; 0—100 МОм	
М4100/4	1000	0—200	1,0	0—1000 кОм; 0—200 МОм	
М4100/5	2500	0—1000	1,0	0—2000 кОм; 0—1000 МОм	
Ф4100	2500	0—50000	2,5	0—50000 МОм	Питание от сети 220 В, 50 Гц или от источника постоянного тока 12 В
Ф4101	100	0—2000	2,5	0—2; 1—2; 1—20; 10—200; 100—2000;	Питание от сети 220 В, 50 Гц или внешнего источника постоянного тока 12 В, или встраиваемых сухих элементов
	500	0—10000	2,5	0—10; 0,5—10; 5—100; 50—1000; 500—10 000;	
	1000	0—20000	2,5	0—20; 1—20; 10—200; 100—2000; 1000—20 000 МОм	

такой схеме измерений токи утечки по поверхности изоляции отводятся в землю, минуя обмотку логометра. На рис. III.13,*б* зажим *Э* подключен к токоотводящему электроду, размещенному на изолированной оболочке кабеля возле воронки, а на рис. III.13, *в* — к заземленной оболочке кабеля. Схема включения мегомметра без экрана приведена на рис. III.13,*а*.

Значение сопротивления изоляции в большой степени зависит от температуры. Сопротивление изоляции следует измерять при температуре изоляции не ниже + 5 °С, кроме случаев, оговоренных спе-

циальными инструкциями. При более низких температурах результаты измерения из-за нестабильного состояния влаги не отражают истинной характеристики изоляции.

В некоторых установках постоянного тока (аккумуляторных батареях, генераторах постоянного тока и т. п.) можно контролировать изоляцию с помощью вольтметра с большим внутренним сопротивлением (30 000—50 000 Ом). При этом измеряют три напряжения — между полюсами (U) и между каждым из полюсов и землей (U_1 и U_2).

Сопротивление изоляции установки можно определить из выражения

$$R_{из} = \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1\right) R_в \cdot 10^6 \text{ [МОм]},$$

где $R_в$ — внутреннее сопротивление вольтметра, Ом.

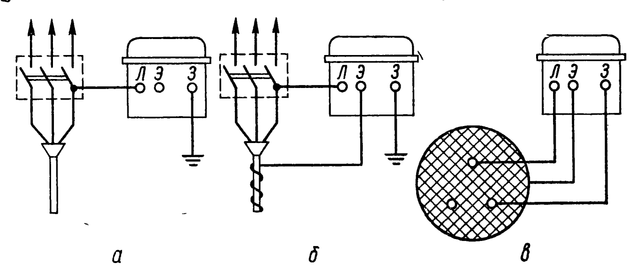


Рис. III.13. Схема включения мегомметра.

Определение увлажненности изоляции

Увлажненность изоляции определяют обычно для решения вопроса о необходимости сушки гигроскопической изоляции электрических машин и трансформаторов. Методы определения степени увлажненности изоляции основываются на физических процессах, происходящих в изоляции при приложении к ней напряжения. Емкость изоляции может быть представлена геометрической емкостью, определяемой геометрическими размерами изоляции, и емкостью абсорбционной, т. е. емкостью, образуемой в толще изоляции неоднородностями изоляционного материала, а также различными включениями в виде воздушных промежутков, влаги, загрязнений и др.

При приложении напряжения через изоляцию в первый момент проходит ток заряда геометрической емкости, быстро прекращающийся в связи с процессом зарядки этой емкости. Абсорбционная емкость проявляется не сразу после приложения к изоляции напряжения, а спустя некоторое время после заряда геометрической емкости в результате последующего перераспределения зарядов в толще изоляции и накопления их на границах отдельных слоев, образующих из-за неоднородностей как бы цепочку последовательно включенных емкостей. Следствием заряда соответствующих отдельных емкостей (поляризации) является ток абсорбции в изоляции.

После прекращения поляризации, т. е. заряда абсорбционной емкости, ток абсорбции становится равным нулю, но через изоляцию продолжает проходить ток сквозной проводимости (ток утечки), значение которого определяется сопротивлением изоляции постоянному току.

Определение влажности по коэффициенту абсорбции основано на сравнении показаний мегомметра, снятых через разные промежутки времени после приложения напряжения. Коэффициент абсорбции

$$K_{аб} = \frac{R_{60}}{R_{15}},$$

где R_{60} и R_{15} — сопротивление изоляции, измеренное соответственно через 60 и 15 с после приложения напряжения мегомметра. Для неувлажненной обмотки при температуре 10—30 °С $K_{аб} = 1,3 \div 2,0$; для увлажненной обмотки коэффициент абсорбции близок к единице. Это различие объясняется разной длительностью заряда абсорбционной емкости у сухой и влажной изоляции. Значение коэффициента абсорбции сильно зависит от температуры изоляции, поэтому для сравнения следует пользоваться значениями, измеренными или приведенными к одной температуре. Коэффициент абсорбции измеряется при температуре не ниже +10 °С.

Определение влажности по емкости и частоте производится главным образом при испытании силовых трансформаторов. Оно основано на том, что емкость неувлажненной изоляции при изменении частоты изменяется меньше (или совсем не изменяется), чем емкость увлажненной изоляции. Емкость изоляции принято измерять при двух частотах: 2 и 50 Гц.

При измерении емкости изоляции на частоте 50 Гц успевает проявиться только геометрическая емкость, одинаковая у сухой и влажной изоляции. При измерении емкости изоляции на частоте 2 Гц успевает проявиться абсорбционная емкость влажной изоляции, в то время как у сухой изоляции она меньше и заряжается медленно. Температура при измерениях должна быть не ниже + 10 °С. Отношение емкости, измеренной при частоте 2 Гц (C_2), к емкости при 50 Гц (C_{50}) для увлажненной изоляции составляет около 2, а для неувлажненной — около 1. Эти измерения осуществляют прибором типа ПКВ-7 (прибор контроля влажности), технические характеристики которого приведены в гл. II.

Определение влажности изоляции силовых трансформаторов по емкости и температуре. О степени увлажненности изоляции можно судить по изменению ее емкости, измеряемой при различных температурах. В качестве верхнего предела температуры принимают 70 °С и выше, в качестве нижнего — на 50 °С меньше. Критерий неувлажненности

$$\frac{C_г}{C_х} \leqslant 1,05 \div 1,1,$$

где $C_г$ и $C_х$ — емкость соответственно при 70 и 20 °С.

По данным Московского трансформаторного завода, изоляцию можно считать неувлажненной, если

$$\frac{C_{70} - C_{20}}{C_{20}} \leqslant 0,2.$$

Емкость обмоток можно измерить либо с помощью моста типа Р5026 одновременно с измерением $\operatorname{tg} \delta$, либо вольтметром — амперметром. Температуру обмоток трансформаторов измеряют термометром, установленным в верхних слоях масла, или устанавливают по сопротивлению меди обмотки.

Определение влажности изоляции силовых трансформаторов по приросту емкости за 1 с. Заряжая емкость изоляции и затем разряжая ее, измеряют емкость объекта C и прирост емкости ΔC в течение 1 с за счет абсорбционной емкости, которая успевает проявиться за 1 с у влажной изоляции и не успевает — у сухой. Отношение $\Delta C/C$ характеризует степень увлажненности изоляции обмоток трансформатора. Значения отношений $\Delta C/C$ для неувлажненной изоляции приведены в гл. IX. Отношение $\Delta C/C$ зависит от температуры изоляции и должно измеряться при температуре не ниже + 10 °С.

Определение влажности изоляции электрических машин по коэффициенту нелинейности. У машин, имеющих увлажненную изоляцию, зависимость токов утечки от приложенного выпрямленного напряжения нелинейна. Нелинейность вызвана резким увеличением токов утечки в связи с ионизацией во влажной изоляции.

Показателем увлажненности изоляции может быть отношение сопротивлений изоляции, измеренных при напряжениях, равных 0,5 и 2 номинальным ($R_{0,5U_{\text{ном}}}$ и $R_{2U_{\text{ном}}}$). В обоих случаях сопротивление изоляции вычисляется как отношение выпрямленного напряжения, приложенного к изоляции, к одноминутному значению тока утечки при данном напряжении:

$$R_{0,5U_{\text{ном}}} = \frac{0,5U_{\text{ном}}}{I_{1\text{мин}}}; \quad R_{2U_{\text{ном}}} = \frac{2U_{\text{ном}}}{I_{1\text{мин}}}.$$

Для практически неувлажненной изоляции коэффициент нелинейности

$$K_{\text{нл}} = \frac{R_{0,5U_{\text{ном}}}}{R_{2U_{\text{ном}}}} \leqslant 3,0.$$

При измерении этим способом во многих случаях можно пользоваться кенотронным аппаратом.

Измерение диэлектрических потерь

Диэлектрические потери или пропорциональный им тангенс угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$ — одна из основных характеристик состояния электрической изоляции. По значению потерь можно судить о надежности изоляции по отношению к тепловому пробою (тепловой устойчивости), общем старении и увлажненности изоляции.

Для токов и мощности потерь в диэлектрике действительны такие соотношения (рис. III.14).

Отношение активной составляющей тока I_A к емкостной I_C:

$$\frac{I_A}{I_C} = \operatorname{tg}\delta.$$

Емкостный ток

$$I_C = \omega C U, \tag{III.1}$$

где ω — угловая частота; C — емкость диэлектрика; U — приложенное к диэлектрику напряжение, B.

Потери в диэлектрике

$$P = UI_A = UI\cos\varphi = UI_C \operatorname{tg}\delta,$$

или, согласно формуле (III.1),

$$P = \omega C U^2 \operatorname{tg} \delta.$$

Таким образом, потери мощности P и тангенс угла диэлектрических потерь пропорциональны.

Активная составляющая тока не может являться показателем состояния изоляции, так как ее значение зависит от размеров изоляции, в то время как отношение I_A/I_C от размеров изоляции не зависит и изменяется с изменением активной составляющей тока по отношению к емкостной, т. е. с изменением состояния изоляции. Измерение $\operatorname{tg} \delta$ широко используется для оценки состояния изоляции трансформаторов и вводов высокого напряжения. Значение $\operatorname{tg} \delta$ зависит от температуры и прикладываемого к изоляции напряжения. Не следует измерять $\operatorname{tg} \delta$ при температуре ниже $+10$ °С.

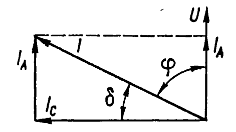


Рис. III.14. Векторная диаграмма токов и напряжения в диэлектрике.

При наладке для измерения $\operatorname{tg} \delta$ широко применяют мост типа Р5026 (см. гл. II). Этим мостом можно измерить диэлектрические потери по «прямой» схеме (рис. III.15,*а*), применяемой для объектов, у которых оба электрода изолированы от земли (при измерении $\operatorname{tg} \delta$ между обмотками трансформаторов или между фланцем и электродом высоковольтных вводов в ремонтной мастерской, когда фланец изолятора может быть установлен на изолирующую подставку). Для измерения диэлектрических потерь объектов, имеющих один наглухо заземленный электрод, применяют «перевернутую» схему моста (рис. III. 15,*б*).

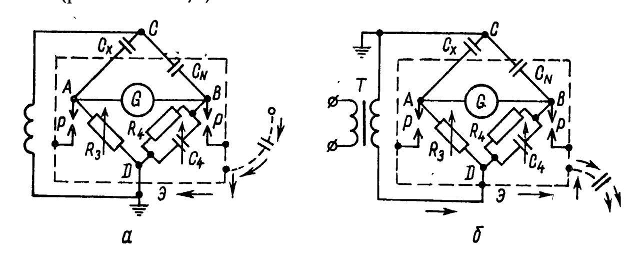


Рис. III.15. Схема включения моста переменного тока:
а — нормальная (прямая); *б* — перевернутая (обратная); *T* — испытательный трансформатор; C_x — испытываемый объект; C_N — образцовый конденсатор; *G* — гальванометр; R_3 — переменный резистор; R_4 — постоянный резистор; C_4 — магазин емкостей.

Значение $\operatorname{tg} \delta$ изоляции измеряют при напряжении, равном номинальному, но не выше 10 кВ. В качестве испытательного трансформатора при измерениях $\operatorname{tg} \delta$, как правило, используется трансформатор напряжения типа НОМ-10. При измерении $\operatorname{tg} \delta$ в измерительном элементе моста возможны токи влияния, обусловленные внешними магнитными и электростатическими полями. Эти влияния несколько уменьшаются экранированием измерительной схемы. Погрешности, создаваемые токами влияния, можно учесть, выполнив измерения четыре раза при разных полярностях гальванометра и подаваемого на схему напряжения. При измерении $\operatorname{tg} \delta$ аппаратов, расположенных вблизи установок под напряжением 110 кВ и выше, мост иногда не удается уравновесить. Тогда измерение осуществляют при положении пере-

ключателя, соответствующем отрицательному $\operatorname{tg}\delta$. Внешние влияния могут быть уменьшены также подбором фазы напряжения питания, при которой показания гальванометра минимальны. Следует также иметь в виду, что при измерениях $\operatorname{tg}\delta$ возможны электромагнитные влияния на мост от испытательного и регулировочного трансформаторов. Во избежание этого рекомендуется располагать их на расстоянии не менее чем 0,5 м от моста.

Значительно реже $\operatorname{tg}\delta$ измеряют с помощью ваттметра, вольтметра и амперметра (рис. III.16). Для углов $\delta < 20°$ с достаточной для практики точностью справедливо соотношение

$$\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}(90° - \varphi) \cong \cong \cos\varphi = \frac{P}{UI}.$$

Если $\delta > 20°$, что встречается редко, $\operatorname{tg}\delta$ может быть определен по значениям $\cos\varphi$ с помощью тригонометрических таблиц. При этом емкость испытываемого объекта

$$C_x = \frac{I}{\omega U}.$$

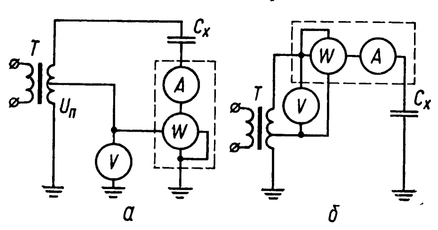


Рис. III.16. Схемы определения $\operatorname{tg}\delta$ с помощью вольтметра, ваттметра, амперметра:

а — нормальная; *б* — перевернутая.

Испытание изоляции повышенным напряжением

Испытание изоляции повышенным напряжением позволяет убедиться в наличии необходимого запаса прочности изоляции, отсутствии местных и общих дефектов, не обнаруживаемых другими способами. Испытанию изоляции повышенным напряжением должны предшествовать тщательный осмотр и оценка состояния изоляции другими методами, описанными ранее. Изоляция может быть подвергнута испытанию повышенным напряжением только при положительных результатах предшествующих проверок. Испытательное напряжение для каждого вида оборудования определяется установленными нормами, приведенными в соответствующих главах настоящего справочника. Испытание повышенным напряжением обязательно для электрооборудования напряжением 35 кВ и ниже, а при наличии испытательных устройств — и для оборудования напряжением выше 35 кВ, за исключением случаев, оговоренных нормами. Изоляторы и оборудование с номинальным напряжением, превышающим номинальное напряжение установки, в которой они эксплуатируются, могут испытываться повышенным напряжением по нормам, установленным для класса изоляции данной установки.

Изоляция считается выдержавшей испытание повышенным напряжением в том случае, если не было пробоев, частичных разрядов, выделений газа или дыма, резкого снижения напряжения и возрастания тока через изоляцию, местного нагрева изоляции.

В зависимости от вида оборудования и характера испытания изоляция может быть испытана приложением повышенного напряжения переменного тока или выпрямленного напряжения. В тех случаях, когда испытание изоляции производится как переменным, так и выпрямленным напряжением, испытание выпрямленным напряжением должно предшествовать испытанию переменным напряжением.

Испытание изоляции повышенным напряжением переменного тока

В качестве испытательного напряжения используется обычно напряжение промышленной частоты. Время приложения испытательного напряжения принято равным 1 мин для главной изоляции и 5 мин для межвитковой. Такая продолжительность приложения испытательного напряжения не сказывается на состоянии изоляции, не имеющей дефектов, и достаточна для осмотра находящейся под напряжением изоляции.

Скорость повышения напряжения до одной трети испытательного значения может быть произвольной, в дальнейшем испытательное напряжение следует повышать плавно, со скоростью, допускающей визуальный отсчет на измерительных приборах. Согласно ГОСТ 11828—75, при испытании изоляции электрических машин время повышения напряжения от половинного до полного значения должно быть не менее 10 с. После установленной продолжительности испытания напряжение плавно снижается до значения, не превышающего одной трети испытательного, и отключается. Резкое снятие напряжения допускается в тех случаях, когда это необходимо для безопасности людей или сохранности оборудования. Под продолжительностью испытания подразумевается время приложения полного испытательного напряжения.

Минимально допустимые расстояния по воздуху от токоведущих частей, находящихся под испытательным напряжением, до заземленных предметов и частей установки, находящихся под рабочим напряжением, приведены в табл. III.2.

Для предотвращения недопустимых перенапряжений при испытаниях (из-за высших гармоник в кривой испытательного напряжения) испытательная установка должна быть по возможности включена на линейное напряжение сети. Форму кривой напряжения можно контролировать электронным осциллографом.

Испытательное напряжение, за исключением ответственных испытаний (генераторов, крупных двигателей и т. д.), измеряют на стороне низкого напряжения. При испытании объектов с большой емкостью напряжение на высокой стороне испытательного трансформатора может несколько превышать расчетное по коэффициенту трансформации за счет емкостного тока. При ответственных испытаниях испытательное напряжение измеряют на высокой стороне испытательного трансформатора с помощью трансформаторов напряжения или электростатических киловольтметров. В тех случаях, когда одного трансформатора напряжения для измерения испытательного напряжения недостаточно, допускается последовательное соединение двух однотипных трансформаторов напряжения. Применяют также дополнительные сопротивления к вольтметрам.

Для защиты ответственных объектов от случайного опасного повышения напряжения параллельно испытываемому объекту должны быть включены через сопротивление (2—5 Ом на каждый вольт испытательного напряжения) шаровые разрядники с пробивным напряжением, равным 110 % испытательного. Схема испытания изоляции электрооборудования повышенным напряжением переменного тока приведена на рис. III.17. Перед подачей напряжения на испытываемый объект полностью собранную схему опробуют вхолостую и проверяют напряжение пробоя шаровых разрядников. Мощность испытательного трансформатора может быть определена из выражения

$$P = \omega C_x U U_{\text{ном}} \cdot 10^{-9}\ [\text{кВ} \cdot \text{А}],$$

Таблица III.2. **Значения изоляционных расстояний по воздуху при испытаниях**

Испытательное напряжение, кВ	Расстояние, см						
	до заземленных предметов	до частей установки, находящихся под рабочим напряжением, В					
		до 10	35	110	154	220	400
20	5	25					
30	10	25					
40	20	30					
50	25	30	50	110	150	210	
60	30		55	115	155	215	
70	40		60	120	160	220	
80	45		65	120	160	220	
90	50		70	125	165	225	
100	60		75	130	170	230	390
150	80			150	190	250	410
200	90			170	205	265	425
250	120			190	230	290	450
300	140			215	255	310	470
350	150				270	320	480
400	180				300	330	490
450	190					350	515
500	200					370	530
550	220					390	550
600	240						570
650	260						600
700	300						615
800	360						660
900	400						710

где C_x— емкость изоляции испытываемого объекта, пФ; U — испытательное напряжение, кВ; $U_{ном}$— номинальное напряжение вторичной

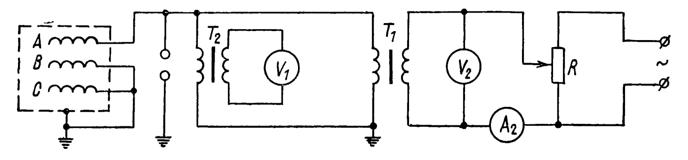


Рис. III.17. Схема испытания изоляции повышенным напряжением переменного тока.

(высоковольтной) обмотки испытательного трансформатора, кВ; ω — угловая частота испытательного напряжения. Ориентировочные значения емкости отдельных видов оборудования приведены в табл. III.3. Если нет данных о емкости испытываемого объекта, ее можно измерить на низком напряжении мостом или с помощью амперметра или вольтметра.

Таблица III.3. **Ориентировочные значения емкости изоляции некоторых объектов испытания**

Объект испытаний	Емкость, пФ
Вводы трансформаторов и масляных выключателей	50—800
Трансформаторы напряжения и тока	50—1000
Силовые трансформаторы, некоторые трансформаторы напряжения, электродвигатели мощностью до 100 кВт	1000—10 000
Электродвигатели мощностью больше 100 кВт	10 000—100 000
Турбогенераторы мощностью 15—150 тыс. кВт	100 000—300 000

В качестве испытательных трансформаторов, кроме специальных, можно использовать силовые трансформаторы и трансформаторы напряжения. Силовые трансформаторы при таком использовании допускают нагрузку по току до 250 % номинальной при трехкратном (пофазном) испытании с двухминутным перерывом между приложениями напряжения. Для трансформаторов напряжения типа НОМ допустимо повышение напряжения на первичной обмотке до 150—170 % номинального. При отсутствии испытательного трансформатора достаточной мощности возможно параллельное включение однотипных трансформаторов.

Испытание изоляции выпрямленным напряжением

Применение выпрямленного испытательного напряжения позволяет значительно уменьшить мощность испытательной установки, делает возможным испытание объектов с большой емкостью (кабелей,

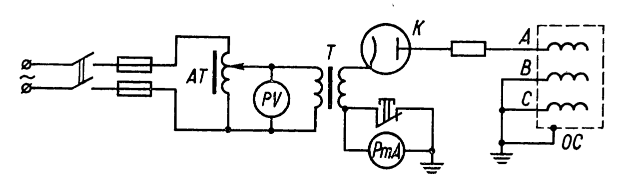


Рис. III.18. Схема испытания изоляции выпрямленным напряжением.

конденсаторов и др.), позволяет контролировать состояние изоляции по измеряемым токам утечки.

При испытании изоляции выпрямленным напряжением, как правило, применяются схемы однополупериодного выпрямления. На рис. III.18 приведена принципиальная схема испытания изоляции выпрямленным напряжением.

Методика испытания изоляции выпрямленным напряжением аналогична методике при испытаниях переменным напряжением; дополнительно ведется контроль за током утечки. Время приложения

выпрямленного напряжения более продолжительно, чем при испытании переменным напряжением, и в зависимости от испытываемого оборудования установлено нормами в пределах 10—15 мин. Измерение испытательного напряжения, как правило, осуществляется с помощью вольтметра, включенного на стороне низкого напряжения испытательного трансформатора (с пересчетом по коэффициенту трансформации). Поскольку выпрямленное напряжение определяется амплитудным значением, показания вольтметра (измеряющего эффективные значения напряжения) необходимо умножить на $\sqrt{2}$. Внутреннее сопротивление, выпрямительной лампы, небольшое при нормальном накале катода резко возрастает при недостаточном токе накала. При этом падение напряжения в выпрямительной лампе увеличивается, а на испытываемом объекте уменьшается. Поэтому при испытаниях необходимо следить за напряжением питания испытательной установки. Целесообразно также применение вольтметра с большим добавочным сопротивлением для измерения напряжений на высокой стороне.

Как и при испытаниях переменным напряжением, в целях защиты ответственных объектов от случайного чрезмерного повышения напряжения рекомендуется параллельно испытываемому объекту включить через сопротивление (2—5 Ом на каждый вольт испытательного напряжения) разрядник с пробивным напряжением, равным 110—120 % испытательного.

Ток, проходящий через изоляцию при испытаниях выпрямленным напряжением, в большинстве случаев не превышает 5—10 мА, что обусловливает небольшую мощность испытательного трансформатора.

При испытаниях объектов с большой емкостью (силовые кабели, конденсаторы, обмотки крупных электрических машин) заряженная до испытательного напряжения емкость объекта имеет большой запас энергии, мгновенный разряд которой может привести к разрушению аппаратуры испытательной установки. Поэтому разряжать испытываемый объект следует так, чтобы разрядный ток не проходил через измерительный прибор. Для снятия заряда с испытываемых объектов используются заземляющие штанги, в электрическую цепь которых включается сопротивление 5—50 кОм. В качестве разрядных сопротивлений для объектов, обладающих большой емкостью, применяют наполненные водой резиновые трубки.

Заряд емкости даже после кратковременного наложения заземления может сохраняться длительно и представлять опасность для жизни персонала. Поэтому после того как испытываемый объект разряжен с помощью разрядного устройства, он должен быть наглухо заземлен.

Испытание изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 В

Согласно ПУЭ, у всех аппаратов, вторичных цепей и электропроводок напряжением до 1000 В должно быть измерено сопротивление изоляции и проведено испытание повышенным напряжением. Допустимые минимальные значения сопротивления изоляции приведены в табл. III.4.

Испытательное напряжение промышленной частоты принято равным 1000 В. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

Схема испытания изоляции приведена на рис. III.19. Испытания проводятся в полностью собранной схеме. При большем числе разветвленных цепей для предотвращения перегрузки испытательного транс-

Таблица III.4. **Наименьшие допустимые сопротивления изоляции аппаратов, вторичных цепей и электропроводки напряжением до 1000 В**

Испытываемая изоляция	Напряжение мегомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
Вторичные цепи управления, защиты, измерения, сигнализации и т. п. в электроустановках напряжением выше 1000 В:			
шинки оперативного тока и шинки цепей напряжения на щите управления	500—1000	10	Испытания производятся при отсоединенных цепях
каждое присоединение вторичных цепей и цепей питания приводов выключателей и разъединителей	500—1000	1	Испытания производятся со всеми присоединенными аппаратами (катушки приводов, контакторы, реле, приборы, вторичные обмотки трансформаторов тока и напряжения и т. п.)
Вторичные цепи управления, защиты сигнализации в релейно-контакторных схемах установок напряжением до 1000 В	500—1000	0,5	Испытания производятся со всеми присоединенными аппаратами (магнитные пускатели, контакторы, катушки автоматов, реле, приборы и т. п.)
Цепи бесконтактных схем системы регулирования и управления, а также присоединенные к ним элементы		По данным завода-изготовителя	
Цепи управления, защиты и возбуждения машин постоянного тока напряжением до 1100 В, присоединенных к цепям главного тока	500—1000	1	
Силовые и осветительные электропроводки	1000	0,5	Испытания в осветительных проводах производятся до вворачивания ламп с подсоединением нулевого провода к корпусу светильника. Изоляция измеряется между проводами и относительно земли

Испытываемая изоляция	Напряжение мегомметра, В	Сопротивление изоляции, МОм	Примечание
Распределительные устройства, щиты и токопроводы напряжением до 1000 В	500—1000	0,5	Для каждой секции распределительного устройства

форматора емкостными токами испытания следует выполнять раздельно по участкам. Перед испытанием в схеме снимаются все заземления, отсоединяются вторичные обмотки трансформаторов напряжения,

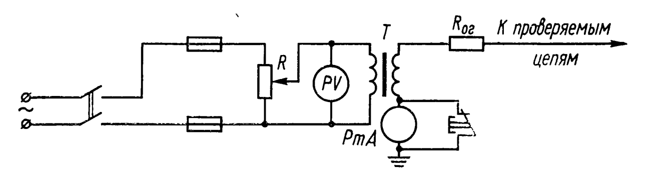


Рис. III.19. Схема испытания изоляции вторичных цепей повышенным напряжением переменного тока.

аккумуляторные батареи, а также вся аппаратура, изоляция которой не допускает испытания повышенным напряжением. Временные перемычки, которые необходимо поставить по условию объединения участков схемы, подвергаемых испытанию, должны отличаться от других проводов.

Во избежание повреждения в случае пробоя испытываемой изоляции при испытании шунтируются конденсаторы, полупроводниковые элементы; электронные лампы должны быть вынуты из панелек; при наличии в испытательной схеме приборов с обмотками напряжения и тока, изоляция между которыми рассчитана на испытательное напряжение 500 В, эти обмотки на время испытания должны быть соединены временными перемычками между собой и отсоединены от неиспытываемых цепей. При испытаниях шунтируют также катушки аппаратов с большой индуктивностью во избежание резонанса, который может появиться при определенной емкости кабелей. Изоляция вторичных цепей считается выдержавшей испытания, если при испытаниях не обнаружены скользящие разряды, пробои изоляции, резкие толчки тока и напряжения, а также если при повторной проверке мегомметром сопротивление изоляции не уменьшилось.

Если нет специальной испытательной аппаратуры, то в качестве испытательного трансформатора может быть использован трансформатор напряжения типа НОМ-3. Мощность испытательного трансформатора 200—300 В · А при напряжении 1000 В, как правило, достаточна. Ограничительное сопротивление принимается порядка 1000 Ом.

При отсутствии испытательной аппаратуры допускается, как исключение, замена испытания переменным напряжением 1000 В одноминутным измерением сопротивления изоляции мегомметром 2500 В.

Глава IV

АППАРАТУРА ДЛЯ ИСПЫТАТЕЛЬНО-НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Регулировочные устройства

В процессе испытательно-наладочных работ при выполнении многих операций требуется плавное изменение напряжения и тока. Регулировочные устройства необходимы при испытаниях изоляции повышенным напряжением, опробовании защит первичным током, поверке электроизмерительных приборов, снятии характеристик электроаппаратуры и средств автоматизации и т. п. В наладочной практике в качестве регулировочных устройств применяют: а) проволочные реостаты (ползунковые и ступенчатые); б) жидкостные реостаты; в) регулировочные автотрансформаторы (АТ) со щеточным токосъемным устройством; г) бесконтактные регулировочные автотрансформаторы; д) индукционные регуляторы; е) тиристорные регуляторы.

Проволочные ползунковые и ступенчатые реостаты

Проволочные реостаты применяют как регулировочные устройства главным образом при проверке элементов релейной защиты и при испытаниях установок постоянного тока. Кроме того, их часто используют в тех случаях, когда не допускаются даже небольшие искажения формы кривой регулируемого напряжения (тока).

Ползунковые реостаты типа РСП (табл. IV.1) пригодны для регулирования напряжения в цепях постоянного и переменного тока небольшой мощности и тока до 7 А. Схемы включения реостатов приведены на рис. IV.1.

Весьма удобны сдвоенные реостаты типа РСПС (табл. IV.2).

Для регулирования напряжения реостат включают по схеме делителя напряжения (рис. IV.2). Делитель выбирается по условиям плавности регулирования напряжения и допустимому току. Для удовлетворения первого условия сопротивление делителя должно быть по возможности большим. Для выполнения второго условия делитель должен длительно выдерживать ток нагрузки и собственного потребления. Чтобы снизить влияние нагрузки на значение снимаемого с делителя напряжения, сопротивление реостата должно удовлетворять условию $R_{нагр} \geqslant R_р$. Для регулирования малых значений напряжения применяется источник регулируемого напряжения типа ИРН-64. Напряжение на его выходных зажимах 2,5—0—50; 5—0—100 мВ при нагрузке 100 Ом. Внутреннее сопротивление 15—25 Ом. Допустимый ток 0,04 А.

Регулировочные резисторы однооборотные типа ППБ и СП5-30 мощностью до 50 Вт, с пределами номинальных сопротивлений 2,2—47 000 Ом, предельным рабочим напряжением 500 В выпускаются

Таблица IV.1. **Технические характеристики реостатов типа РСП**

Вариант	Допустимый ток, А	Сопротивление, Ом				Диаметр проволоки, мм
		РСП-1	РСП-2	РСП-3	РСП-4	
1	0,25	1440	2900	4300	6500	0,24
2	0,35	740	1450	2200	3350	0,25
3	0,45	410	825	1280	1950	0,30
4	0,55	260	520	800	1200	0,33
5	0,7	180	345	530	800	0,40
6	0,85	125	240	370	560	0,45
7	1,0	95	170	265	400	0,50
8	1,4	50	105	165	250	0,60
9	1,7	30	65	100	150	0,70
10	2,1	20	41	63	95	0,80
11	2,6	15	30	45	70	0,90
12	3,0	10,5	22	33	50	1,0
13	3,4	8	17	25	38	1,10
14	4,0	6,5	13	20	30	1,20
15	4,5	—	10	15,5	23	1,30
16	5,0	—	8	12,5	19	1,40
17	5,5	—	6,8	10,6	16	1,50
18	6,2	—	5,5	8,5	13	1,60
19	7,0	—	4,5	7,0	11	1,70

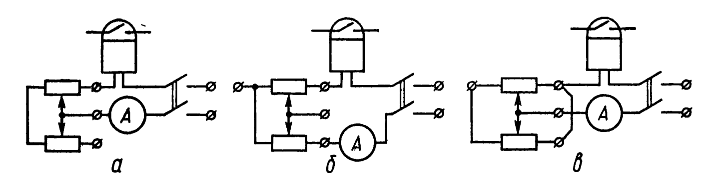


Рис. IV.1. Схемы включения ползунковых реостатов:
а — один реостат; *б* — последовательное включение двух реостатов; *в* — параллельное включение двух реостатов.

Таблица IV.2. **Технические характеристики сдвоенных реостатов типа РСПС**

Реостат	Допустимый ток, А, при соединении трубок		Максимальное сопротивление, Ом, при соединении трубок	
	параллельном	последовательном	параллельном	последовательном
РСПС-2	0,5—14,0	0,25—7,0	2,2—1400	9—5600
РСПС-3	0,5—14,0	0,25—7,0	3,5—2150	15—8600

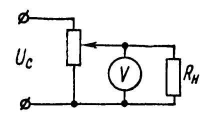


Рис. IV.2. Схема делителя напряжения.

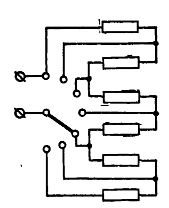


Рис. IV.3. Схема секционного реостата с последовательным включением секций и ступенчатым регулированием.

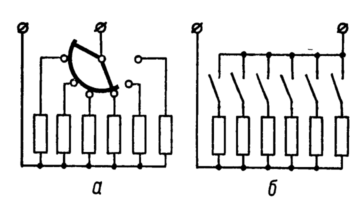


Рис. IV.4. Схема секционных реостатов с параллельным включением секций и ступенчатым регулированием:

а — общий переключатель; *б* — раздельные переключатели.

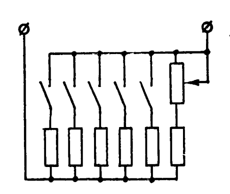


Рис. IV.5. Схема секционного реостата с плавно-ступенчатым регулированием.

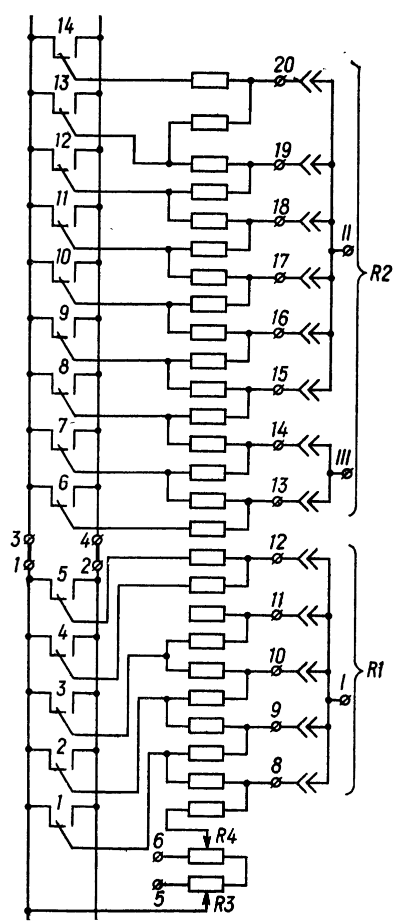


Рис. IV.6. Схема реостата типа ЦЛЭМ Мосэнерго.

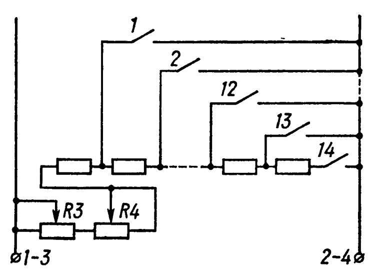


Рис. IV.7. Схема регулирования тока реостатом типа ЦЛЭМ Мосэнерго в пределах 0,25—5 А.

серийно промышленностью. Некоторыми энергосистемами (Мосэнерго, Ленэнерго и др.) разработаны и изготовлены устройства для проверки релейной защиты с ползунковыми реостатами, рассчитанными на большие токи. Однако эти устройства не получили распространения. Обычно для этой цели используют ступенчатые реостаты в сочетании с ползунковыми (рис. IV.3— IV.5).

На рис. IV.6 в качестве примера показана схема реостата ЦЛЭМ Мосэнерго. В реостате имеются два плеча: *R1* и *R2*. Плечо *R1* состоит из 10 секций по 44 Ом каждая. Секции выполнены из нихромовой проволоки диаметром 0,9 мм. Плечо *R2* имеет 16 таких секций. Длительно допустимый ток секции 5 А (5,5 А в течение 5 мин).

Реостаты плавной регулировки *R3* и *R4* рассчитаны на длительный ток 4 А, их полное суммарное сопротивление 300 Ом. Перемычки *I*, *II* и *III* служат для закорачивания половины секций при включении реостата на напряжение 127 В; при включении на 220 В перемычки снимают. Перемычки *1—3* и *2—4* позволяют включать оба плеча реостата раздельно или параллельно; в последнем случае полный ток реостата близок к 70 А.

На рис. IV.7 приведена принципиальная схема включения реостата для регулирования тока от 0,25 (включен только рубильник *14*) до 5 А (включены все рубильники). Реостаты такого типа (со штекерными переключателями) применяют также в мостовых и потенциометрических установках высокого класса точности.

Жидкостные реостаты

При регулировке как переменного, так и постоянного тока иногда используют жидкостные (водяные) реостаты. Несмотря на то что такие реостаты неудобны, они все же находят применение в процессе наладки вследствие их простоты и возможности изготовления практически в любых условиях. Ток регулируется либо изменением положения электрода относительно металлического сосуда (бака, ведра и др.), в который налита вода, либо изменением уровня воды в сосуде.

Проводимость реостата можно увеличивать в некоторых пределах, добавляя в воду поваренную соль или соду. Жидкостные реостаты можно изготовлять также на большие мощности (до 5000 кВт), когда нужно создать искусственную нагрузку для синхронных генераторов. При этом нагрузка регулируется изменением количества воды, протекающей через реостат.

Регулировочные автотрансформаторы

Наиболее широко для регулирования напряжения применяют регулировочные АТ со щеточным токосъемом. Такие АТ представляют собой железный сердечник с медной обмоткой, намотанной в один ряд. По наружной поверхности обмотки, очищенной от изоляции, скользит одна или несколько контактных щеток. Через щетки снимается регулируемое напряжение. Эти трансформаторы называют вариаторами (табл. IV.3), регуляторами напряжения и лабораторными регулировочными АТ (рис. IV.8).

Лабораторные автотрансформаторы типов ЛАТР-1М и ЛАТР-2М по конструкции и техническим характеристикам незначительно отличаются от регуляторов РНО-250-0,5 и РНО-250-2. Для кратковременного регулирования тока от 0 до 200 А применяются разработанные в наладочных организациях вариаторы. В тресте «Электроцентромон-

Таблица IV.3. **Технические характеристики регулировочных автотрансформаторов (вариаторов)**

Вариатор	Номинальное напряжение сети, В	Максимально регулируемое напряжение, В	Максимальная мощность, кВ·А	Максимально допустимый ток нагрузки одной пары щеток, А	Число регулируемых цепей	Масса, кг	Система охлаждения
			Однофазные				
РНО-250-0,5	127/220	250	0,5	2	1	5	Воздушная
АОСН-20-220	127/220	240	2,0	8	1	30	»
РНО-250-2	127/220	250	2,0	8	1	15	»
РНО-250-5	127/220	250	5,0	20	2	40	»
РНО-250-10	127/220	240	10,0	40	2	70	Масляная
АОМН-40-220	127/220	240	5,5	22	1	47	»
			Трехфазные				
РНТ-220-6	127/220	220±5 %	6	16	2	60	Масляная
РНТ-220-12	127/220	220±5 %	12	32	2	100	»
АТМН-32-220	127/220	220	12	32	3	70	»
АТСН-16-220	127/220	220	6	16	3	44	Воздушная

таж» на базе РНО-250-5 за счет сдваивания роликов токосъемного механизма и увеличения сечения токоотводов изготовлен вариатор РНО-250-5М (рис. IV.9). Технические характеристики вариатора: номиналь-

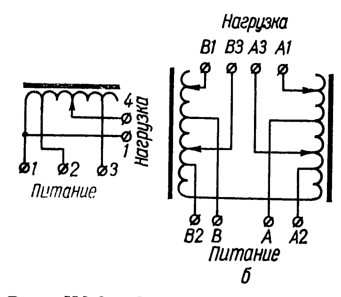


Рис. IV.8. Схема регулировочных АТ:

а — тип РНО-250-0,5 (2); *б* — тип РНО-250-5 (10).

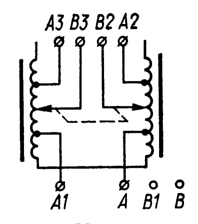


Рис. IV.9. Схема вариатора РНО-250-5М.

ное напряжение питания 220 В; максимальное регулируемое напряжение 250 В; максимальный регулируемый ток 150 А; допустимая длительность максимального тока 20 с.

В тресте «Казэлектромонтаж» разработан регулятор напряжения РНО-220-50/200 А (рис. IV.10). Технические характеристики вариатора: напряжение питания 220 В; выходное напряжение регулируется ступенчато через 4 В по диапазонам: 0—100 В, 20—120 В, 120—220 В; допустимый ток нагрузки: длительно — 50 А, в течение 1 мин — 150 А (пауза 10 мин); в течение 10 с — 200 А (пауза 5 мин); регулятор помещен в бачок с трансформаторным маслом; габаритные размеры ⌀ 240 × 260 мм; масса 18 кг. Для получения напряжения в диапазоне 0—100 В нагрузка подключается к клеммам *1* и *2* (движок переключателя *В1* перемещается слева направо); в диапазоне 20—120 В нагрузка подключается к клеммам *2* и *3* (движок перемещается справа налево); в диапазоне 120—220 В нагрузка подключается к клеммам *2* и *4* (движок перемещается справа налево).

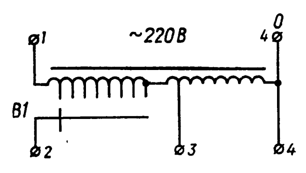


Рис. IV.10. Схема регулятора напряжения РНО-220-50/200 А.

Бесконтактные регулировочные трансформаторы и автотрансформаторы. Индукционные регуляторы

Принцип действия бесконтактных регулировочных трансформаторов и автотрансформаторов основан на изменении индуктивной связи обмоток, расположенных на магнитопроводе. Конструктивно это осуществляется перемещением (вручную или электроприводом) подвижной вторичной обмотки. В табл. IV.4 приведены технические характеристики трансформаторов для регулирования напряжения типа РОТ и РТТ.

Таблица IV.4. **Технические характеристики трансформаторов для регулирования напряжения**

Трансформатор	Номинальное напряжение, В		Номинальная мощность, кВ · А	Номинальный вторичный ток, А	Масса, кг
	первичное	вторичное			
РОТ-25/0,5	220	0—230	25	108,7	800
РТТ-25/0,5	380/220	0—400	25	36,4	800

Индукционные регуляторы (потенциал-регуляторы) представляют собой заторможенный асинхронный электродвигатель с фазным ротором, обмотки которого имеют автотрансформаторную (реже трансформаторную) связь. В однофазных индукционных регуляторах вторичное напряжение всегда совпадает по фазе с первичным, в трехфазных вторичное напряжение изменяется по значению и фазе. Из-за большой массы и громоздкости индукционные регуляторы используются, как правило, в стационарных установках (табл. IV.5).

Таблица IV.5. **Технические характеристики индукционных регуляторов**

Тип	Число фаз	Мощность, кВ·А	Напряжение сети, В	Пределы регулирования напряжения, В	Ток, А		Габаритные размеры, мм	Масса, кг
					сети	нагрузки		
ИР 59/22-У3	3	160	380	0—380	310	245	1046×900×1625	1450
	3	160	380	0—650	321	143		
ИР 59/32-У3	1	145	380	0—650	495	220	1046×900×1750	1700
	3	250	380	0—650	470	220		
	3	160	380	0—860	330	110		
ИР 74/29-У3	3	400	380	0—380	790	610	1266×1150×1990	2400
	3	400	380	0—650	770	356		
ИР 74/40-У3	1	320	380	0—650	1055	492	1266×1150×2100	2700
	3	500	380	0—650	965	445		
	3	400	380	0—860	770	270		
ИР 99/32-У3	3	1000	380	0—650	1890	890	1410×1400×2518	5800
	3	800	380	0—860	1565	540		
ИР 99/45-У3	1	800	380	0—650	2620	1230	1410×1400×2645	6400
	3	1250	380	0—650	2390	1110		
	3	1000	380	0—860	1920	675		

Тиристорные регуляторы

Разработка и внедрение в промышленность тиристорных преобразователей позволили решить большое количество технических проблем, в том числе регулирование значительных постоянных и переменных (однофазных и трехфазных) токов и напряжений малогабаритными устройствами. Тиристорным преобразователям свойственно существенное искажение формы кривой тока и напряжения, однако этот недостаток во многих случаях не является препятствием для широкого использования их. Тиристорные преобразователи применяются в наладочной практике для плавного регулирования переменного тока со стороны питания нагрузочного трансформатора, постоянного (выпрямленного) тока при проверке двигателей постоянного тока и приводов масляных выключателей, трехфазного напряжения при первом безударном пуске короткозамкнутых асинхронных двигателей и во многих других случаях. Ниже приведены технические характеристики некоторых типов тиристорных преобразователей как серийно выпускаемых промышленностью, так и изготавливаемых в наладочных организациях.

Тиристорные станции управления ТСУ-РИ предназначены для включения, отключения, регулирования напряжения, подводимого к статорной обмотке, защиты, плавного (безударного) пуска, динамического торможения, реверсирования асинхронных короткозамкнутых двигателей. Технические характеристики тиристорных станций управления приведены в табл. IV.6. Длительность безударного пуска от 1 до 10 с. Максимальное число включений в час 1200. В табл. IV.6 приведены также характеристики тиристорных станций ТСУР.

Таблица IV.6. **Технические характеристики тиристорных станций управления ТСУ-РИ и ТСУР**

Тип	Напряжение сети, В	Номинальный ток, А	Диапазон регулирования напряжения, В	Охлаждение	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
ТСУ-РИ 110 УЗ	220	160	22—220	Естественное	500×400×535	53
ТСУ-РМ 120 УЗ	380	160	38—380			
ТСУ-РИ 130 УЗ	660	160	66—660			
ТСУ-РИ 210 УЗ	220	250	22—220	Принудительное	500×415×680	55
ТСУ-РИ 220 УЗ	380	250	38—380			
ТСУ-РИ 230 УЗ	660	250	66—660			
ТСУР-2104 УЗ	220/380	25	22—220/38—380	Естественное	700×600×1400	297
ТСУР-2106 УЗ		63				306
ТСУР-2107 УЗ		100			700×600×1800	316
ТСУР-2124 УЗ		25			700×600×1400	300
ТСУР-2126 УЗ		63				310
ТСУР-2127 УЗ		100			700×600×1800	320

Тиристорные преобразователи ПТЗ-19/220 могут быть использованы длительно для плавного регулирования постоянного тока от 0 до 50 А и напряжения от 0 до 220 В; габаритные размеры 360 × 320 × 690 мм; масса 30 кг; питание от трехфазной промышленной сети 380 В.

Тиристорные преобразователи ПТОМ-230-50 могут использоваться в качестве регуляторов постоянного тока и напряжения в пределах 0—50 А и 0—230 В; питание от однофазной сети 220 В; габаритные размеры 460 × 400 × 360 мм; масса 32 кг.

Тиристорный регулятор тока ТРТ предназначен для испытания устройств релейной защиты; пределы регулирования тока 5—200 А, напряжения 10—380 В; питание от однофазной сети 220 или 380 В; габаритные размеры 390 × 180 × 190 мм; масса 8,2 кг.

Испытательные трансформаторы

Высоковольтные испытательные трансформаторы применяют при испытаниях изоляции повышенным напряжением. Для этой цели используют как специальные испытательные трансформаторы, так и трансформаторы, предназначенные для получения высокого напряжения в различных энергетических и промышленных установках. В зависимости от емкости объекта испытаний испытательные трансформаторы принято делить на две группы: 1) трансформаторы, предназначенные для испытания изоляции подстанционного оборудования (емкость не выше 10 000 пФ); 2) трансформаторы для испытания изоляции вращающихся машин.

Трансформаторы для подстанционного оборудования

Промышленностью выпускаются специальные высоковольтные испытательные трансформаторы типа ИОМ. Один вывод высоковольтной обмотки снабжен изолятором, рассчитанным на полное испытательное напряжение, второй заземляется.

Длительная работа трансформаторов типа ИОМ допускается при напряжении, равном 2/3 номинального, и нагрузке, составляющей 0,6 номинальной. Полные (номинальные) напряжение и ток допустимы только в течение 30 мин. Трансформатор должен быть защищен шаровыми разрядниками.

Кроме трансформаторов типа ИОМ для испытания изоляции подстанционного оборудования могут быть использованы высоковольтные трансформаторы для электрофильтров типа АФА-90-200, трансформаторы типа ТВО-140-50 и др. Технические характеристики некоторых трансформаторов, применяемых в качестве испытательных, приведены в табл. IV.7.

Трансформаторы для вращающихся машин

Для испытания изоляции вращающихся машин повышенным напряжением переменного тока могут быть использованы силовые трансформаторы (одно- и трехфазные), трансформаторы напряжения и др. В табл. IV.8 и IV.9 приведены технические характеристики однофазных силовых трансформаторов и трансформаторов напряжения, которые могут быть использованы при испытаниях.

Таблица IV.7. **Технические характеристики однофазных испытательных масляных трансформаторов**

Тип	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Номинальная мощность, кВ · А	Масса, кг
	низшее	высшее		
ИОМ-7/12 У3	0,22	2×7	12	127
ИОМ-35-70/30 У2	0,2	35—70	15	420
ИОМ-35-70/100 У2	0,2	35—70	50	600
ИОМ-35-70/300 У2	0,38	35—70	150	1100
ИОМ-100/20 У2	0,2	100	10	315
ИОМ-10/25-73 У3	0,2	100	10	505
ИОМ-100/100-73 У3	0,35	100	40	990

Таблица IV.8. **Технические характеристики однофазных трансформаторов**

Тип	Номинальное напряжение обмоток, кВ		Номинальная мощность, кВ · А	Масса, кг
	низшее	высшее		
ОМ-5/15-70 У3	0,38	15	5	112
ОМ-33/35-71 У3	0,2; 0,38	36	20	530
ОМ-66/20-71 У1	0,38	11; 22	50	656
ОМА-210/10-73 У3	0,24	2×5,3	210	1282
ОМЖ-10/27,5-63 У1	0,23	27,5	10	310
ОМП-4/6-10	0,23; 0,4	6; 10	4	115
ОМП-10/6-10	0,23; 0,4	6; 10	10	135

Таблица IV.9. **Технические характеристики трансформаторов напряжения, используемых в качестве испытательных**

Тип	Номинальный коэффициент трансформации, В/В	Максимальная мощность, кВ · А		Максимальный ток, А		Масса, кг
		длительная	одноминутная	длительный	одноминутный	
НОМ-6	600/100	0,6	1,5	6	15	23
НОМ-10	10000/100	0,72	3,5	7,2	35	36
НОМ-15	15000/100	0,84	4,0	8,4	40	81
ЗНОМ-35	$35000/\sqrt{3}$ / $100\sqrt{3} \div 100/3$	1,2	5,0	13*	55*	200
НОМ-35	35000/100	1,2	6,0	12	60	248

* Значение тока приведено для последовательного соединения обмоток низкого напряжения.

Высоковольтные аппараты для испытания изоляции

Аппарат типа АИИ-70 (рис. IV.11) предназначен для испытания электрической прочности изоляции элементов электроустановок, в том числе силовых кабелей и жидких диэлектриков, постоянным (выпрямленным) или переменным током высокого напряжения.

Технические характеристики: максимальное напряжение при испытании выпрямленным током 70 кВ, при испытании переменным током 50 кВ; напряжение питающей сети 127, 220 В; наибольший выпрямленный ток 5 мА; выходная одноминутная мощность высоковольтного трансформатора 2 кВ · А; время работы под нагрузкой

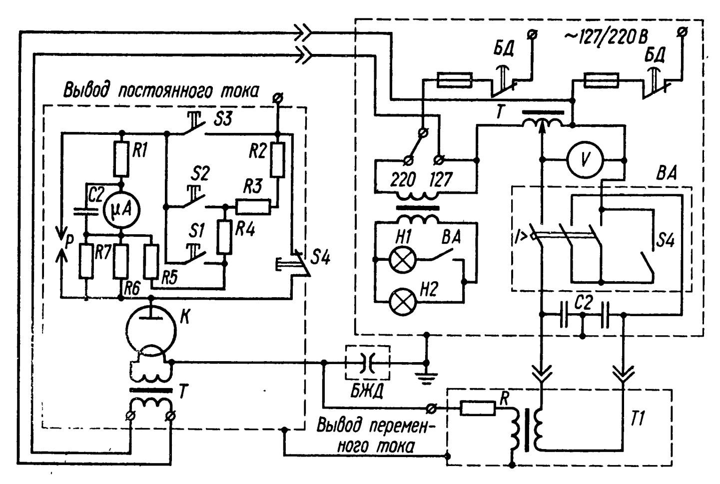


Рис. IV.11. Схема соединений кенотронного аппарата АИИ-70.

(с кенотронной приставкой) 10 мин; интервал между включениями 3 мин; масса 175 кг.

Ток выпрямляется с помощью кенотрона типа КРМ-150 по однополупериодной схеме. В анодную цепь кенотрона включен блок микроамперметра с пределами измерений 200, 1000 и 5000 мкА. Испытательное напряжение измеряется вольтметром, включенным с низкой стороны трансформатора и проградуированным в киловольтах эффективных (до 50) и максимальных (до 70). В кенотронный аппарат встроена защита (чувствительная и более грубая) от коротких замыканий на стороне высокого напряжения. В комплект аппарата входит заземляющая штанга, предназначенная для снятия емкостного заряда с испытываемого объекта и его глухого заземления.

В последние годы вместо кенотрона используются полупроводниковые высоковольтные выпрямители типа ВВК-0,05/140, ВВК-0,5/200 и др. Они представляют собой набор диодов Д-1008 (10 кВ, 50 мА), зашунтированных конденсатором ПОВ (15 кВ) и помещенных в трубку из изоляционного материала. Технические характеристики ВВК-0,05/140: максимальное выпрямленное напряжение 70 кВ; максимальный выпрямленный ток 50 мА, максимальное обратное напряжение 140 кВ; габаритные размеры ⌀ 130 × 440 мм; масса 6 кг.

Высоковольтное выпрямительное устройство В-140-5-2 (рис. IV.12) предназначено для выпрямления переменного тока в стационарных установках по окраске изделий в электростатическом поле. Оно может быть применено при высоковольтных испытаниях.

Технические характеристики: напряжение питающей сети 220 В; номинальное выпрямленное напряжение до 140 кВ максимальных; номинальный выпрямленный ток 5 мА; номинальная мощность 2,0 кВ · А; масса 150 кг; выпрямительная лампа КР-220.

Высоковольтное выпрямительное устройство В-200-0,5 служит для питания выпрямленным напряжением стационарных лабораторных установок различного назначения.

Технические характеристики: напряжение питающей сети 127/ /220 В; выпрямленное напряжение до 200 кВ максимальных; максимальный ток нагрузки 500 мкА; пульсация напряжения на выходе в пределах ± 5 %; масса 350 кг; выпрямитель — набор селеновых шайб типа АВС-7-3П. Отрицательный полюс устройства обязательно должен быть заземлен.

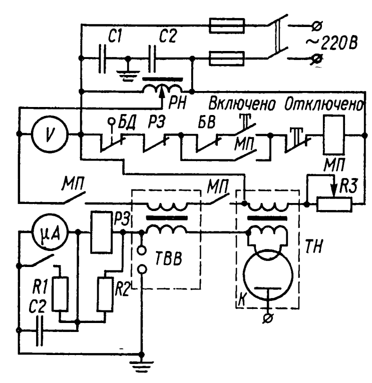


Рис. IV.12. Схема выпрямительного устройства В-140-5-2:

ТН — трансформатор накала; *РН* — регулятор напряжения типа РНО-250-2; *К* — кенотрон типа КР-220.

Универсальный аппарат ВЧФ-4-3 предназначен для испытания электрической прочности витковой изоляции: обмоток электрических машин переменного и постоянного тока мощностью 0,1—100 кВт и больше; обмоток роторов турбогенераторов; полюсных катушек синхронных генераторов и машин постоянного тока; обмоток силовых трансформаторов I, II, III габаритов; обмоток ТТ; катушек различных электро- и радиоаппаратов.

Технические характеристики: напряжение питания 220 В; потребляемая мощность до 800 В · А; выходное напряжение (регулируемое) 3000 В.

Чувствительность аппарата позволяет обнаружить один короткозамкнутый виток у катушек с числом витков 18 000—21 000, намотанных проводом диаметром 0,1 мм и больше.

Аппарат ЕЛ-1 предназначен для обнаружения витковых замыканий в обмотках электрических машин и аппаратов; нахождения паза с короткозамкнутыми витками в обмотках статоров, роторов и якорей электрических машин; проверки правильности соединения обмоток электрических машин; проверки правильности маркировки выводных концов фазовых обмоток электрических машин; обнаружения обрывов в обмотках электрических машин и аппаратов.

Аппарат выявляет один короткозамкнутый виток на каждые 2000 витков катушки. Схема аппарата состоит из трех основных узлов: электронно-лучевой трубки с высоковольтным контуром питания, контура развертки луча и синхронизации, генератора импульсов. Аппарат ЕЛ-1 переносный, собран в металлическом корпусе. Масса аппарата 9,5 кг. В комплект входит приспособление с двумя П-образными электромагнитами для нахождения в машине паза с короткозамкнутыми витками.

Передвижные электротехнические лаборатории

Электротехническая лаборатория на автошасси ГАЗ-51 типа ЭТЛ-10М предназначена для измерений и испытаний при приеме в эксплуатацию и профилактики электроустановок напряжением до 10 кВ включительно, а также для сушки трансформаторного масла и электросварочных работ.

Электротехническая лаборатория на автошасси ГАЗ-66 типа ЭТЛ-35-02 предназначена для проведения полного комплекса поверочных и испытательных работ по оборудованию электростанций и подстанций 35/10 кВ мощностью до 6300 кВ А, воздушных линий напряжением до 35 кВ и определения мест повреждения в кабельных линиях напряжением до 10 кВ.

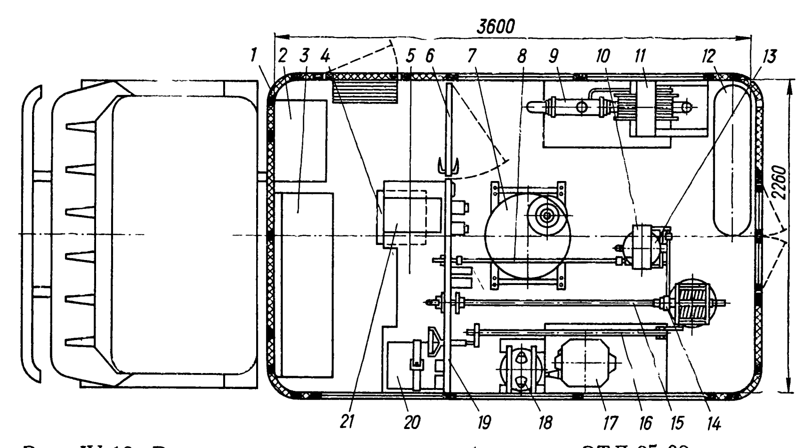


Рис. IV.13. Размещение аппаратуры в лаборатории ЭТЛ-35-02:

1 — кузов; *2* — шкаф для приборов; *3* — диван; *4* — регулятор напряжения; *5* — пульт управления; *6* — вход в отделение высокого напряжения; *7* — испытательный трансформатор; *8* — тяга управления микроамперметром; *9* — отопительная установка; *10* — микроамперметр; *11* — катушка питающего кабеля; *12* — запасное колесо; *13* — кенотронная лампа; *14* — главный переключатель; *15* — тяга главного переключателя; *16* — тяга заземляющего ножа; *17* — образцовый конденсатор; *18* — трансформатор НОМ-10; *19* — перегородка; *20* — измерительный мост; *21* — мегомметр.

Общий вид и размещение аппаратуры в лаборатории ЭТЛ-35-02 приведены на рис. IV.13.

Аппаратура для проверки релейной защиты, приборов и автоматики

Нагрузочные трансформаторы

Нагрузочные трансформаторы предназначены для получения больших токов (до нескольких тысяч ампер) при проверке релейной защиты, трансформаторов тока, автоматов и т. п. первичным током К нагрузочным относят также менее мощные трансформаторы (типа котельных), которые используют для получения токов до 100 А, необходимых при проверке вторичных реле, измерительных приборов, элементов автоматики. Мощные нагрузочные трансформаторы разработаны

и выпускаются небольшими сериями предприятиями энергосистем и наладочных организаций.

На рис. IV.14 в качестве примера приведена схема нагрузочного трансформатора ТН-3 ЦЛЭМ Мосэнерго, который рассчитан на мощность 30 кВ · А в течение 10 с. В табл. IV.10 приведены технические характеристики этого трансформатора при различных соединениях выводов. Для удобства измерений в нагрузочный трансформатор встроен ТТ. Размеры нагрузочного трансформатора 320 × 230 × 290 мм; масса 26 кг.

Большое распространение получили нагрузочные трансформаторы НТ-10 (напряжение питания 220 В, максимальный вторичный ток 10 кА,

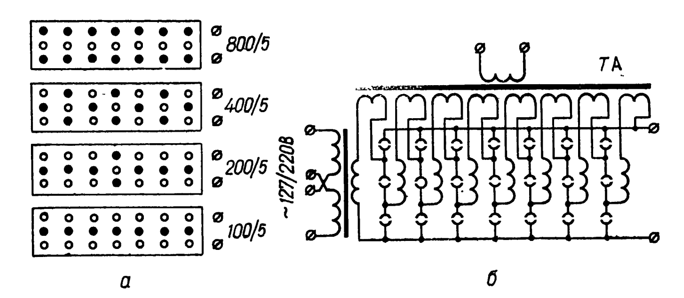


Рис. IV.14. Схема внешних выводов (● — гайка затянута, ○ — гайка отпущена) нагрузочного трансформатора типа ТН-3 (*а*) и его принципиальная схема (*б*).

масса 80 кг). Очень удачна конструкция нагрузочного трансформатора ТОН, разработанная в тресте Казэлектромонтаж. Технические характеристики трансформатора: напряжение питания 220 В; напряжение на разомкнутой вторичной обмотке 4 В; максимальный ток вторичной обмотки 7 кА (имеется разновидность трансформатора с током до 15 кА); габаритные размеры 200 × 200 × 200 мм; масса 18 кг. В комплект трансформатора входят два гибких медных провода сечением 480 мм^2 (масса около 8 кг; длина 0,8 м).

Таблица IV.10. **Технические характеристики нагрузочного трансформатора ТН-3 ЦЛЭМ Мосэнерго**

Коэффициент трансформации при напряжении на первичной обмотке, В		Допустимый (номинальный) ток, А, при длительности до		Вторичное напряжение холостого хода, В	Коэффициент трансформации измерительного трансформатора
110	220	10 мин	10 с		
1 : 12	1 : 24	800	1800	9,2	800/5
1 : 6	1 : 12	400	900	18,4	400/5
1 : 3	1 : 6	200	600	36,8	200/5
1 : 1,5	1 : 3	100	300	73,6	100/5

Вторичная обмотка состоит из двух витков, выполненных из листовой меди шириной 100 и толщиной 4 мм. Между витками вторичной размещена первичная обмотка (100 витков) из провода ПБД $2 \times \times 8$ мм². Обмотки охватываются шестью (для варианта на 15 кА — десятью) ленточными разрезными магнитопроводами от серийно выпускаемых трансформаторов ТС-200к. Такая конструкция обеспечивает минимальное рассеивание и работу трансформатора в линейной части характеристики намагничивания. Благодаря этому не искажается форма кривой выходного напряжения, сохраняется пропорциональность (с погрешностью до 3 %) между первичным и вторичным токами и, следовательно, появляется возможность измерять ток со стороны питания трансформатора.

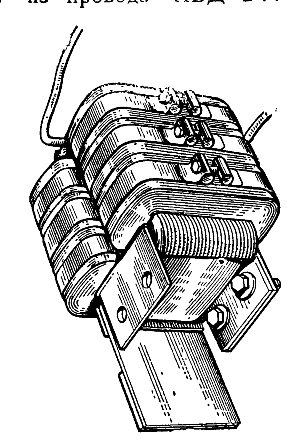


Рис. IV.15. Общий вид нагрузочного трансформатора ТОН (без кожуха).

На рис. IV.15 изображен общий вид трансформатора ТОН без кожуха, а на рис. IV.16 — трансформатор в сборе рядом с входящими в комплект проводами и универсальным ампервольтметром

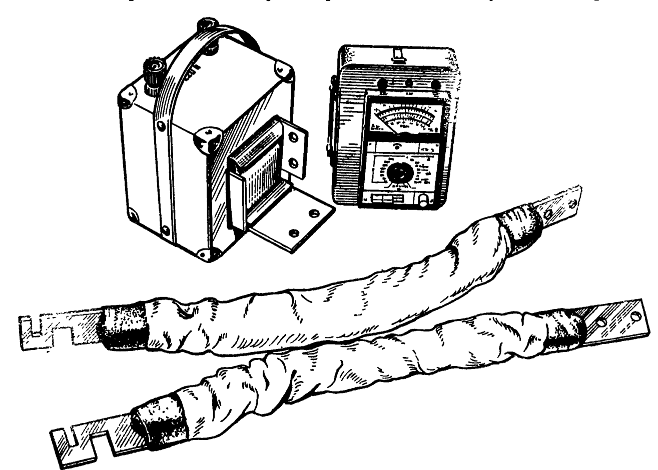


Рис. IV.16. Общий вид нагрузочного трансформатора ТОН с соединительными проводами и ампервольтметром.

Фазорегуляторы

В испытательно-наладочной практике иногда необходимо плавно изменять фазы подводимого напряжения относительно тока или другого напряжения. Чаще всего это требуется при проверке релейной защиты с элементами направления мощности. Для этой цели применя-

ют индукционные фазорегуляторы (ФР) или вариаторы с переключателями. Индукционный ФР представляет собой заторможенный трехфазный асинхронный двигатель (АД) с фазным ротором, включенный как трансформатор. При повороте ротора угол между вторичным и первичным напряжением может изменяться от 0 до 360°.

Технические характеристики некоторых типов фазорегуляторов приведены в табл. IV.11.

Таблица IV.11. **Технические характеристики фазорегуляторов, используемых для наладочных работ**

Тип фазорегулятора	Номинальное напряжение, В		Мощность, кВ · А	Ток, А		Масса, кг
	первичное	вторичное		первичный	вторичный	
МАФ-22	220 220/380	220 220/380	0,2	1,0 2,9/1,7	1,0 1,3/0,8	16
ФР-41	127/220	127/220	0,5	5,0/2,9	2,3/1,3	45
ФР-82-2	220/380	127/220	0,5	2,3/1,3	4,0/2,3	16

Коммутационные фазорегуляторы

Принцип действия ФР, собранного на базе делителя напряжения или вариатора, обмотка которого включена на линейное напряжение, а нагрузка подключена к движку и третьей фазе, показан с помощью векторной диаграммы на рис. IV.17.

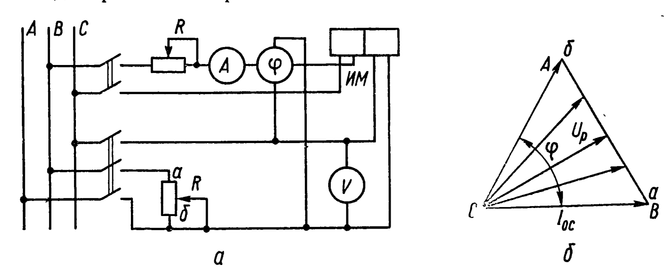


Рис. IV.17. Схема плавного изменения угла с помощью делителя напряжения:

а — схема включения; *б* — векторная диаграмма.

На рис. IV.18 в качестве примера приведена схема коммутационного фазорегулятора ЦЛЭМ Мосэнерго. В этой конструкции переключение фаз, подаваемых на вариатор, осуществляется переключателем. Второй вариатор служит для одновременного поддержания значения выходного напряжения (из рис. IV.17,*б* видно, что при изменении угла изменяется и значение напряжения $U_р$). Кинематическая схема ФР такова, что при изменении угла (с помощью движка первого вариатора) перемещается дополнительная щетка второго вариатора, поддерживая на выходе постоянное по величине напряжение.

Таблица IV.12. **Фазы подводимых напряжений**

Угол, °	Фазы подводимых напряжений		Векторная диаграмма	Угол, °	Фазы подводимых напряжений		Векторная диаграмма
	первая цепь	вторая цепь			первая цепь	вторая цепь	
0 и 360	*A*	*A*		180	*A*	—*A*	
30	*A*	*AB*		210	*A*	*BA*	
60	*A*	—*B*		240	*A*	*B*	
90	*A*	*CB*		270	*A*	*BC*	
120	*A*	*C*		300	*A*	—*C*	
150	*A*	*CA*		330	*A*	*AC*	

Для изменения угла ступенями по 30° можно использовать фазные и линейные напряжения. В табл. IV.12 и IV.13 указано, какие фазы напряжения следует подводить к вариаторам для получения нужных углов между первичным и вторичным напряжениями. При этом данные табл. IV.12 предусматривают возможность подачи междуфазных и фазных напряжений, а табл. IV.13 — только междуфазных.

Однофазный коммутационный фазорегулятор ОКФ предназначен для регулирования угла сдвига фаз в пределах от 0 до 360° при практически неизменном напряжении на выходе. Принципиальная схема фазорегулятора ОКФ приведена на рис. IV.19. В состав ОКФ входят: два автотрансформатора *T1*, *T2* на 220 В со ступенчатым регулированием, два ступенчатых реостата для плавной регулировки *1P, 2P,* состоящих из резисторов *R1—R10* и *R11—R20,* три переключателя *S1—S3,* понижающий трансформатор *T3* 220/2 В, предохранители *FU1—FU3*. Отпайки обмоток автотрансформаторов *T1*, *T2* выполнены так, чтобы значение напряжения, снимаемого с фазорегулятора, было

практически неизменным при любом положении переключателя $S2$. На рис. IV.19 указаны витки для одного из вариантов выполнения отпаек автотрансформатора.

Напряжения, снимаемые с каждого автотрансформатора, рассчитываются по соотношениям (рис. IV.20):

$$U'_A = \frac{2}{\sqrt{3}} U_н \sin(60° - \varphi), \qquad (IV.1)$$

$$U'_B = \frac{2}{\sqrt{3}} U_н \cos\varphi, \qquad (IV.2)$$

где $U_н$ — номинальное фазное напряжение; φ — угол сдвига фаз между током

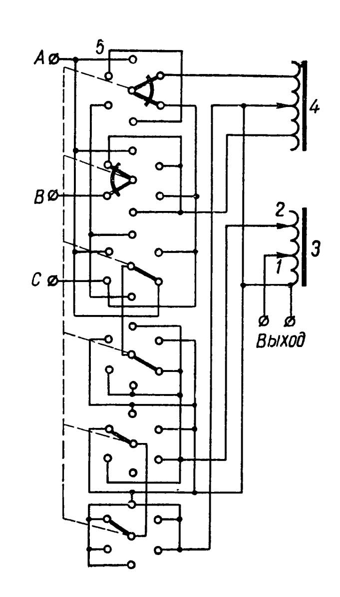


Рис. IV.18. Схема коммутационного фазорегулятора ЦЛЭМ Мосэнерго:

1 — основная щетка; *2* — дополнительная щетка; *3* — регулятор напряжения; *4* — регулятор угла; *5* — переключатель.

Таблица IV.13. **Фазы подводимых напряжений**

Угол, °	Фазы подводимых напряжений: первая цепь	Фазы подводимых напряжений: вторая цепь	Векторная диаграмма	Угол, °	Фазы подводимых напряжений: первая цепь	Фазы подводимых напряжений: вторая цепь	Векторная диаграмма
0 и 360	*AB*	*AB*	A, B, C	180	*AB*	*BA*	A, B, C, 180°, BA
60	*AB*	*CB*	A, B, C, 60°	240	*AB*	*BC*	A, B, C, 240°, BC
120	*AB*	*CA*	A, B, C, 120°, CA	300	*AB*	*AC*	A, B, C, 300°, AC

3×380В
A B C 0
Т3
220/2В
0,5
1,5
20В·А
К токовым цепям
FU1 FU2 FU3
S1 1 2 3 4 5 6
S2
T1 W=1680
229 108 96 79 77 120 209 277 254 231
T2 W=1680
128 169 219 194 125 89 97 116 155 380
1P 2P
R1 R2 R10 R11 R12 R20
R1=R2=...=R20=100 Ом
S3
К цепям напряжения

Рис. IV.19. Схема однофазного коммутационного фазорегулятора ОКФ.

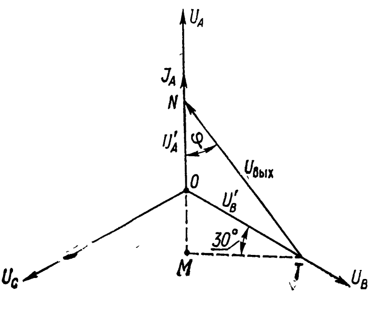


Рис. IV.20. Векторная диаграмма, поясняющая работу фазорегулятора ОКФ.

и напряжением. Выражения (IV.1) и (IV.2) получены на основании рассмотрения прямоугольных треугольников *ОТМ* и *NTM*. Для последнего после подстановки выражений (IV.1) и (IV.2) справедливо соотношение

$$U_{\text{вых}} = \sqrt{(U'_A + U'_B \sin 30°)^2 + (U'_B \cos 30°)^2} = U_{\text{н}} = \text{const},$$

т. е. выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ равно номинальному фазному $U_{\text{н}}$ и неизменно по значению при любом угле сдвига фаз φ.

Токовые цепи проверяемых устройств и контрольных приборов получают питание от трансформатора *Т3*. Сила тока регулируется переключением отпаек трансформатора *Т3* или с помощью последовательно включенного в цепь реостата в пределах 0—0,5 А. Угол сдвига фаз между током и напряжением регулируется с помощью переключателей *S2* (грубо) и *S3* (точно) в пределах 60°. Меняя переключателем *S1* подаваемые на ОКФ фазы питающей сети (*АВ*, *СВ*, *СА*, *ВА*, *ВС* и *АС*), получают диапазон регулирования угла сдвига фаз 0—360°.

Фазорегулятор получает питание от трехфазной четырехпроводной сети напряжением 380 В. Напряжение на выходе ОКФ 220 ± 10 В. Габаритные размеры 200 × 160 × 100 мм, масса 3,5 кг.

Устройства для регулирования частоты

Частоту чаще всего регулируют в пределах 45—50 Гц (реже 50—55 Гц) при проверке реле частоты и частотомеров. Регулирование частоты осуществляется: 1) синхронными генераторами, на которых установлены реле частоты или частотомеры, при работе их вхолостую (крайне неэкономичный способ); 2) лабораторными маломощными синхронными генераторами с приводом от регулируемых двигателей постоянного тока; 3) асинхронным двигателем с фазным ротором, вращаемым от исполнительного двигателя со скоростью, равной ± 10 % номинальной; обмотка статора при этом подключается к сети с напряжением, равным номинальному, а к незакороченной обмотке ротора подключаются поверяемые и образцовые приборы и реле (рис. IV.21); 4) ламповыми генераторами технической частоты. Генератор ГТЧ-150 имеет номинальную мощность на выходе 50 В · А, диапазон регулирования выходного напряжения 20—150 В, коэффициент нелинейных искажений 5 %.

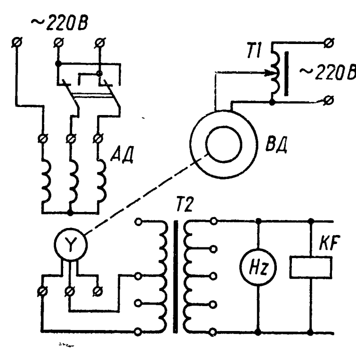


Рис. IV.21. Схема устройства для проверки реле частоты на базе АД с фазным ротором:

ВД — вспомогательный двигатель; *KF* — реле частоты.

Комплектные испытательные устройства

Комплектные устройства широко используют при испытаниях релейной защиты и автоматики. Применение их значительно сокращает затраты времени на подбор испытательной аппаратуры и сборку схемы, повышает безопасность и удобство работ.

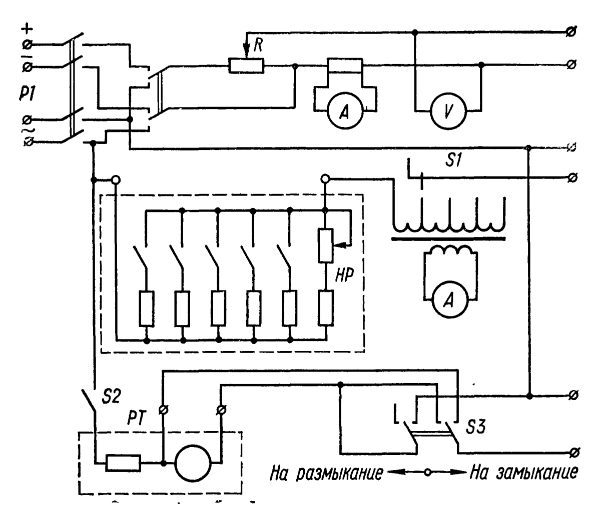


Рис. IV.22. Схема переносного устройства для проверки релейной защиты с нагрузочным реостатом НР:

PT — секундомер; *S3* — переключатель секундомера; *S1* — переключатель ТТ.

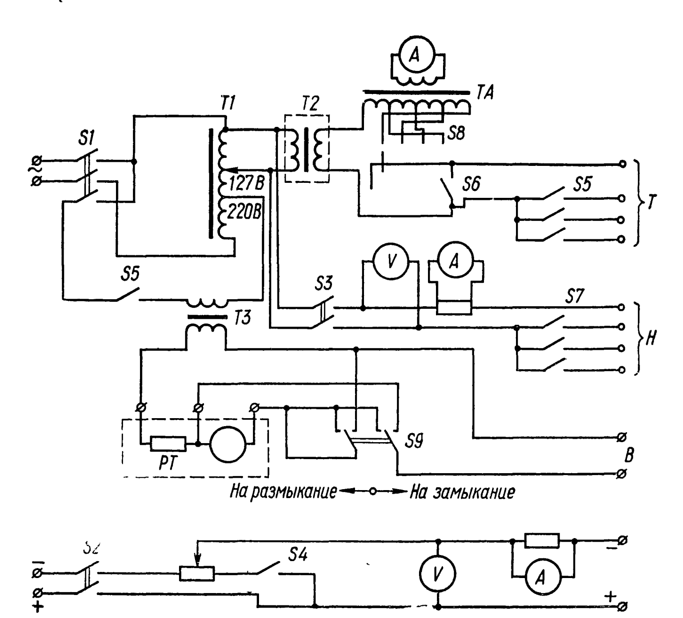


Рис. IV.23. Схема переносного устройства для проверки релейной защиты с нагрузочным трансформатором:

T — токовые цепи; *H* — цепи напряжения.

Существуют различные конструкции комплектных испытательных устройств, разработанных и изготовленных в различных пуско-наладочных и эксплуатационных организациях. В качестве примера на рис. IV.22 и IV.23 приведены принципиальные схемы простейших комплектных устройств с нагрузочным реостатом и трансформатором.

На рис. IV.24 приведена принципиальная схема более сложного *испытательного устройства* ИЗТ-3 ЦЛЭМ Мосэнерго, в которое входят следующие элементы: 1) потенциометр (реостат) R со ступенчатой двух-

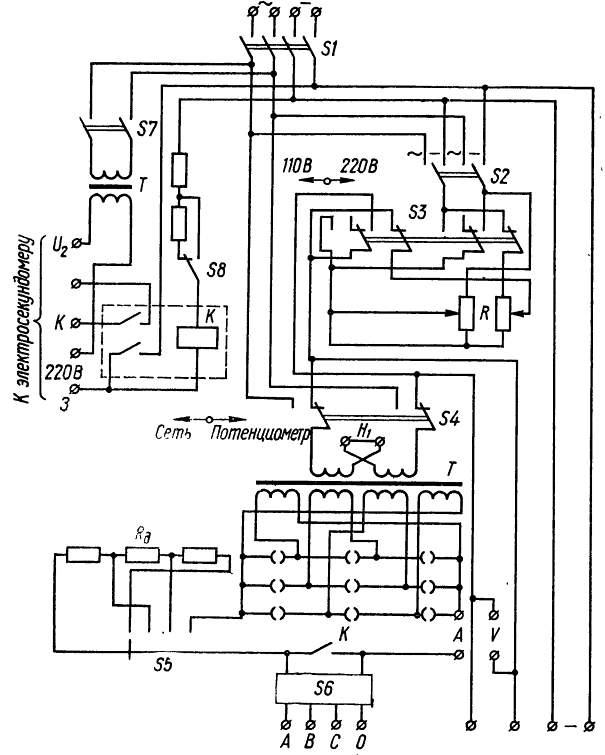


Рис. IV.24. Схема испытательного устройства типа ИЗТ-3.

секционной обмоткой для включения на напряжение 220 и 110 В как переменное, так и постоянное. Допустимый ток потенциометра при параллельном соединении секций 10 А длительно и 30 А на 30 с, а при последовательном — соответственно 5 и 10 А; 2) нагрузочный трансформатор T с двухсекционной обмоткой для переключения на 110 и 220 В (накладкой H_1). Вторичная обмотка также секционирована; переключения производятся на коммутаторе K. Максимальный длительный ток на выходе T 150 А; кратковременно (до 0,5 мин) можно получать токи 400—500 А (в этом случае T включается в сеть непосредственно). Напряжение на выходе трансформатора 27,5; 55 или 110 В; 3) добавочное сопротивление $R_д$, предназначенное для получения правильной формы кривой вторичного тока T при проверке элементов ре-

лейной защиты. Сопротивление разбито на ступени 1; 6 и 30 Ом с допустимыми токами соответственно 10; 5 и 1 А; 4) разделительный трансформатор *T* для включения электросекундомера; 5) реле *K* для остановки секундомера при проверке защит, работающих на постоянном оперативном токе; 6) переключатели *S1, S2, ..., S8* для набора требуемой схемы и включения устройства.

Размеры устройства ИЗТ-3 490 × 420 × 204 мм; масса 25 кг. Устройство предназначено для проверки простых защит (максимальных токовых, отсечек и т. п.).

Для проверки более сложных защит (направленных, дистанционных и др.) к устройству ИЗТ-3 добавляют *приставку типа ИЗН-3* (рис. IV.25). Приставка ИЗН-3 позволяет плавно регулировать напряжение и осуществлять ступенчатое (через 30 или 60°) регулирование угла сдвига фаз между током от устройства ИЗТ-3 и напряжением приставки. Приставка состоит из ступенчатого фазорегулятора φ; реле K_1, предотвращающего попадание на фазорегулятор линейного напряжения; делителя R_3, допускающего ток до 2 А; сопротивления R_1, которое вместе с делителем создаёт возможность плавного регулирования напряжения в небольших пределах; фазоуказателя *ФУ*. Размеры приставки 420 × 205 × 270 мм; масса 10 кг.

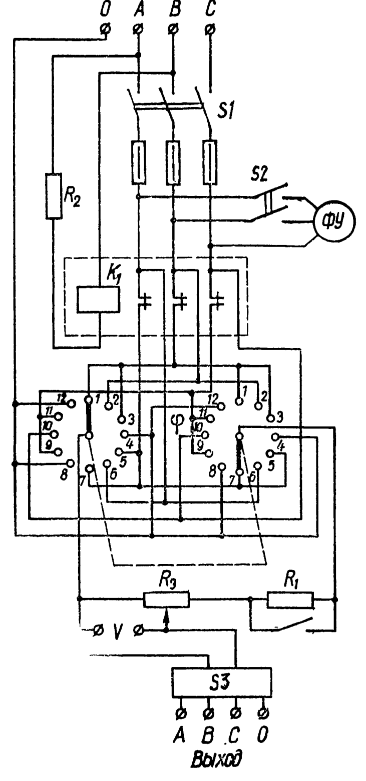


Рис. IV.25 Схема приставки типа ИЗН-3.

Устройства для проверки релейных защит УПЗ (УПЗ-1 и УПЗ-2). В состав устройств входят: блок регулировочный К500; блок нагрузочный К501 и блок приставки К502.

Сочетание блоков К500 и К501 образует устройство УПЗ-1, предназначенное для проверки простых защит; сочетание всех трех блоков (или устройства УПЗ-1 и блока К502) образует устройство УПЗ-2 — для проверки простых и сложных защит с фазозависимыми характеристиками.

Устройство УПЗ-1 обеспечивает возможность плавного регулирования и измерения следующих электрических величин: постоянного тока от 0 до 0,3 А при длительности включения до 30 мин, от 0,3 до 2 А — до 5 мин, от 2 до 5 А — до 1 мин; постоянного напряжения от 0 до 240 В при токе до 0,3 А, от 0 до 15 В — до 2 А, от 0 до 5 В — до 5 А; однофазного переменного напряжения от 0 до 380 В при токе нагрузки до 2 А до 30 мин, от 0 до 380 В при токе 5 А до 1 мин; однофазного переменного и постоянного тока (табл. IV.14).

Устройство позволяет получать мощность в цепях релейной защиты более 1500 В · А и ток от 100 А и выше в течение 30 с или в повторно-кратковременном режиме (ПКР). Этот режим допускает три цикла длительностью по 1,5 мин с перерывами 2 мин между циклами;

Таблица IV.14. **Технические характеристики устройства УПЗ-1**

Предел измерения при питании от сети 380 В			Допустимый ток нагрузки, А, при длительности включения					Максимальное напряжение, В, при длительности включения до 30 с
Род тока	Регулируемая величина	Предел измерения	до 30 мин	до 5 мин	до 3 мин	до 1 мин	до 30 с	
Переменный	Ток	25 А	6,5		13		25	80
	»	50 А	13		26		50	40
	»	100 А	20		40		100	20
	»	200 А	40		80		200	9
Постоянный	Напряжение		0,3	2		5		
	»		2			5		

цикл состоит из трех включений по 10 с с интервалами 30 с. После трех циклов с предельными значениями токов и напряжений, приведенными в табл. IV.14, устройство должно отключаться не менее чем на

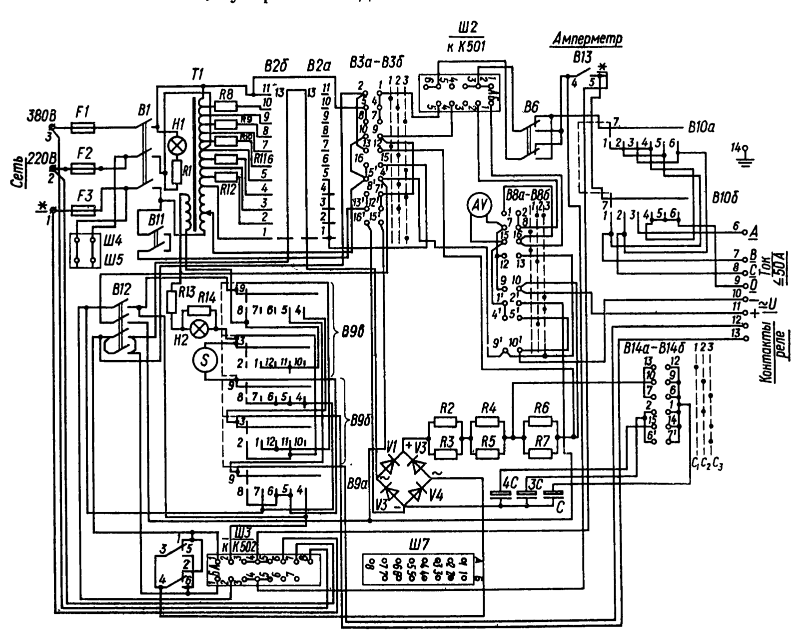


Рис. IV.26. Схема регулировочного блока К500 устройства УПЗ-1.

45 мин. Коэффициенты нелинейных искажений кривой тока не превышают 10—16 % (меньшее значение при активной нагрузке, большее — при индуктивной).

В блок К500 (рис. IV.26) входят переключатели *B1*, *B2*, *B3*, *B6*, *B8*, *B9*, *B10*, *B11*, *B12*, *B14*, *B15*, конденсаторы *C*, *4C* и *5C* (общей ем-

костью 1000 мкФ), резисторы *R1* (15 Вт, 2 кОм), *R2—R7* (по 50 Вт, 24 Ом), *R8—R12* (25 Вт, 51 Ом), *R13* (7,5 Вт, 390 Ом), *R14* (7,5 Вт, 750 Ом), регулировочный автотрансформатор *Тр1*, полупроводниковые диоды *Д1—Д4*, вольтамперметр *ИП*, электросекундомер *S*, лампы сигнальные *Н1*, *Н2*, предохранители *Пр1—Пр3*, накладка *В13*, штепсельные разъемы *Ш2—Ш7*.

Блок К501 (рис. IV.27) содержит трансформаторы силовой *Тр3* и измерительный *Тр4*, переключатели *В4*, *В5*, *В7*, разъем *Ш1*, сопротивление *R* (20 + 50 + 130 Ом). Устройство УПЗ-1 дает возможность производить проверку и наладку защит по току, переменному и по-

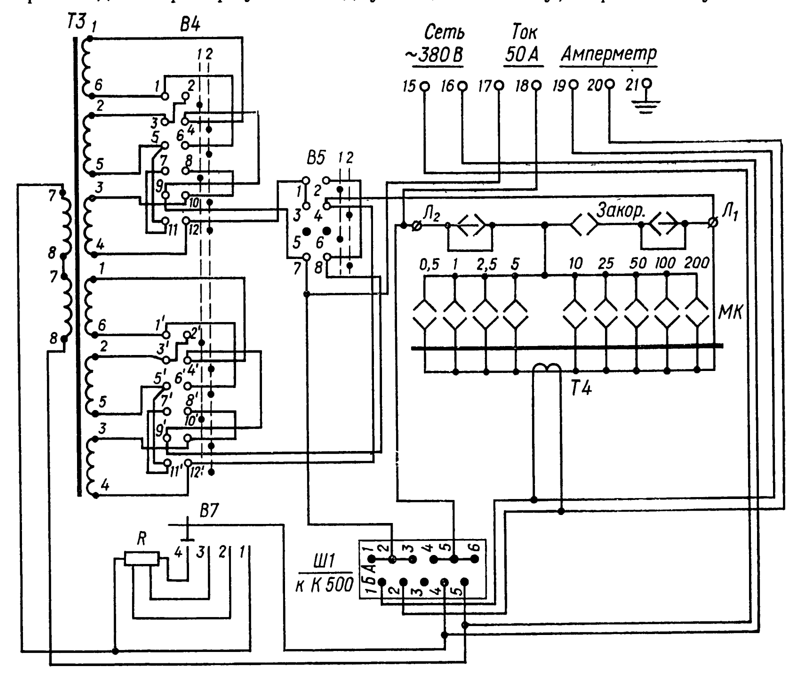


Рис. IV.27. Схема нагрузочного блока К501 устройства УПЗ-1.

стоянному напряжению, переменному напряжению с одновременной ступенчатой регулировкой по переменному току, измерять время срабатывания и возврата переключающих элементов. Устройство УПЗ-2 в дополнение к указанному выше обеспечивает возможность: получения симметричного трехфазного напряжения 110 В при нагрузке до 1 А в «нормальном» режиме; плавной регулировки напряжения между двумя фазами от 0 до 115 В с сохранением симметричности регулируемого и аварийного напряжения по отношению к третьей неповрежденной фазе в «аварийном» режиме; плавной регулировки в пределах от 0 до 360° угла сдвига фаз между током и «аварийным» напряжением; имитации в течение не более 5 с двух- и трехфазного коротких замыканий со сбросом напряжения до значения уставки; питания выпрямленным током до 5 А при напряжении до 3,5 В последовательных обмоток промежуточных реле; имитации пофазно сопротивлений жил контрольного кабеля от трансформатора напряжения до панели испытываемой за-

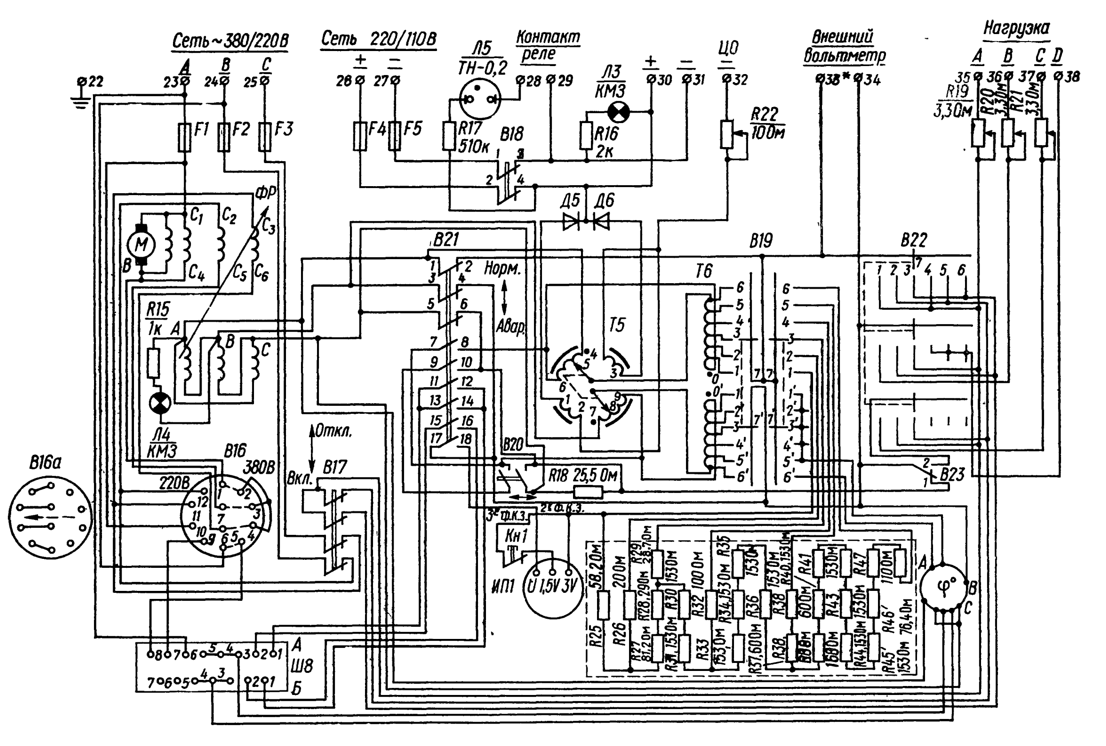


Рис. IV.28. Схема блока приставки К502 устройства УПЗ-2.

щиты; изменения углов сдвига фаз от 0 до 360° и от 0 до 90° в диапазоне изменения токов от 0,3 до 30 А и напряжений от 3 до 120 В; изменения напряжений от 0,3 до 120 В в «аварийном» режиме; определения чередования фаз за фазорегулятором.

В блок К502 (рис. IV.28) входят резисторы *R5—R48*, вольтметр *ИП1*, фазоизмеритель *ИП2*, автотрансформаторы *Тр5*, *Тр6*, переключатели *В16—В23*, замыкатель кнопочный *Кн1*, фазорегулятор φ, пре-

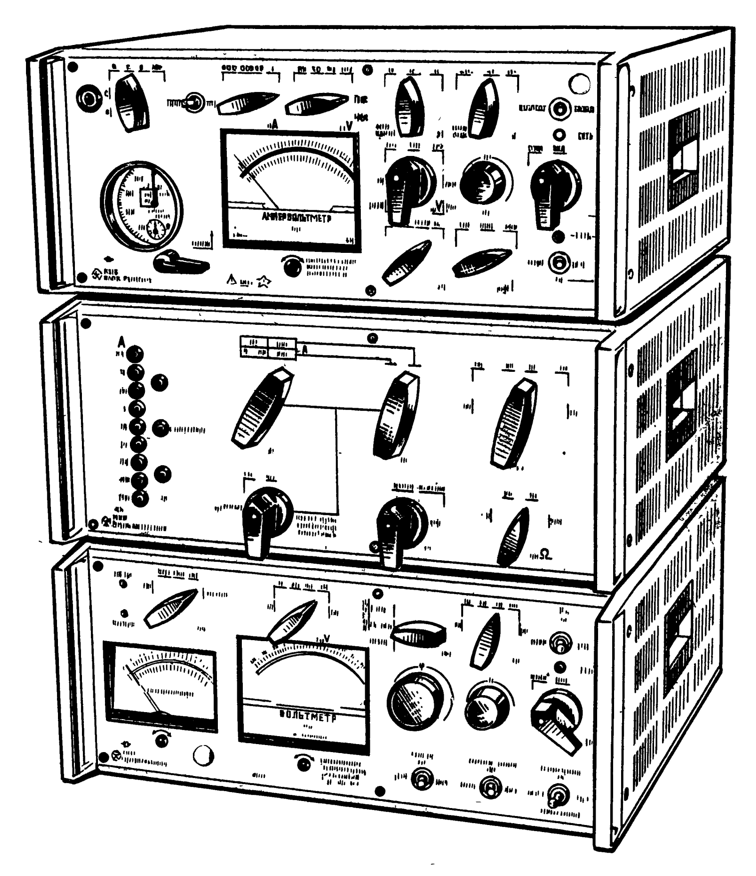


Рис. IV.29. Общий вид установки У5053.

дохранители *Пр1—Пр5*, сигнальные лампы *Л3—Л5*, полупроводниковые диоды *Д5*, *Д6*, штепсельный разъем *Ш8*, двигатель вентилятора *М*

Устройство УПЗ-2 дает возможность проверять и налаживать защиты с реле направления мощности и дистанционные. Питание устройства осуществляется от сети 220 или 380 В. Габаритные размеры и масса блоков: К500—770 × 470 × 270 мм, 24 кг; К501 — 490 × × 370 × 270 мм, 21 кг; К502 — 700 × 520 × 260 мм, 26 кг.

Установка для наладки и проверки релейных защит и элементов автоматики У5053. Установка состоит из трех отдельных блоков: регу-

лировочного К513, нагрузочного К514 и приставки К515, расположенных один на другом на столике-тележке (общий вид приведен на рис. IV.29). Установка обеспечивает возможность выполнения всех проверок, для которых предназначено устройство УПЗ-2, и, кроме того, еще ряда операций, в частности проверку панелей дистанционной защиты и дифференциально-фазных высокочастотных защит. Габаритные размеры: каждого из блоков К513, К514, К515 — 500 × 220 × 520 мм, столика-тележки — 600 × 800 × 800 мм. Масса: К513 — 27 кг, К514 — 29 кг, К515 — 32 кг, столика-тележки — 25 кг.

Установка У5053 является современным устройством, серийно выпускаемым Киевским производственным объединением «Точэлектроприбор».

Глава V

ОБЩИЕ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

В процессе изготовления, пуска, ремонта и реконструкции электрические машины (ЭМ) подвергают испытаниям для определения пригодности их к эксплуатации. Объемы, программы, нормы и методы этих испытаний приводятся в ГОСТах, правилах устройства электротехнических установок, ведомственных и междуведомственных руководящих, директивных и инструктивных материалах, заводских инструкциях и т. д.

Общие технические требования к ЭМ определяются ГОСТ 183—74, который предусматривает также программы и методы контрольных и типовых испытаний машин после их изготовления. Испытания проводят по методам, указанным в ГОСТ 11828—75 и в стандартах на отдельные виды машин или на методы их испытаний, а при отсутствии стандартов — в технических условиях на эти машины.

Методы испытаний машин постоянного тока содержатся в ГОСТ 10159—79, синхронных машин — в ГОСТ 10169—77, асинхронных двигателей — в ГОСТ 7217—79.

В объем наладочных работ по ЭМ входят следующие основные испытания, общие для машин всех типов: 1) внешний осмотр и проверка механической части машины; 2) измерение сопротивления изоляции обмоток; 3) определение возможности включения ЭМ без сушки; 4) испытание изоляции обмоток повышенным напряжением; 5) измерение сопротивления обмоток постоянному току; 6) снятие характеристики холостого хода; 7) измерение вибрации подшипников.

Помимо перечисленных испытаний в отдельных случаях проводятся специальные испытания: 1) на нагрев; 2) для определения потерь и КПД машины; 3) для определения механических характеристик.

Кроме испытаний, общих для машин всех типов, в объем наладочных работ входят также испытания, определяемые типом испытываемой машины.

Внешний осмотр и проверка механической части

Внешний осмотр — одна из эффективных форм профилактики и выявления неисправностей ЭМ.

ГОСТы, ПУЭ, ПТЭ, ведомственные и заводские инструкции требуют, чтобы при внешнем осмотре было проверено следующее:

1) чистота помещения, где установлена ЭМ;

2) комплектность машины (наличие всех деталей, паспортного и клеммного щитков и необходимых обозначений на них);

3) соответствие паспортных данных машины проектным данным или техническим условиям;

4) наличие и содержание технической документации по ревизии или ремонту машины;

5) заполнение подшипников смазкой до заданного уровня и отсутствие течи масла;

6) отсутствие во внутренних частях машины посторонних предметов (для этого пространство между сталью ротора и статора просвечивают или проверяют шнуром; машину продувают сухим чистым воздухом с помощью резинового шланга без металлического мундштука);

7) соответствие предусмотренного заводом направления вращения с направлением, необходимым для сочленения с первичным двигателем или приводным механизмом (если на корпус ЭМ нанесена заводская метка, указывающая направление вращения, то этого, как правило, требует конструкция вентилятора, не обеспечивающего при вращении в обратном направлении подачи нужного для охлаждения машины количества воздуха; в этом случае машину следут развернуть на 180°, если имеются выводы вала с двух сторон, или переставить крыльчатки вентиляторов);

8) целость изоляции и соединений видимых частей обмоток и выводов; при этом проверяется надежность креплений и распорок лобовых частей обмоток и необходимое расстояние между неизолированными частями и корпусом;

9) состояние коллектора, токосъемных колец, щеткодержателей и щеток;

10) наличие заземляющей проводки и качество соединения ее с машиной;

11) наличие и соответствие проекту контрольно-измерительных приборов, термодетекторов, маслоуказателей, а также правильность их установки;

12) состояние устройств для тушения пожара;

13) состояние соединительной муфты или ременной передачи, наличие защитного кожуха;

14) плотность прилегания двух половин разъемной станины (в разъем не должен входить щуп толщиной 0,3 мм);

15) соответствие выбранных щеток техническим условиям.

Рис. V.1. Наборы щупов:
а — для измерения зазоров до 2 мм;
б — клиновой для измерения зазоров до 20 мм.

Измерение воздушных зазоров

Величину воздушных зазоров проверяют набором щупов (рис. V.1) под каждым полюсом (у машин с явно выраженными полюсами) или в четырех — восьми точках (у машин неявнополюсных).

Чтобы получить надежные результаты, зазоры следует измерить при нескольких положениях ротора. Зная величину воздушных зазоров, можно определить форму наружной поверхности неявнополюсной вращающейся части машины или равномерность посадки полюсов явнополюсных роторов. Для этого зазор измеряют в одной и той же точке статора при постепенном проворачивании вращающейся части. Измеряя зазор в одной и той же точке вращающейся части машины, определяют форму полюсов или расточки статора. При небольшой длине активной стали машины (до 300 мм) зазоры можно измерять

с одной стороны, при большой длине — с обеих сторон. В качестве величины зазора принимается толщина полоски или набора полосок щупа, которые входят в зазор с некоторым усилием.

Поворачивание ротора

Ротор машины поворачивают для проверки его свободного вращения и наличия выбега. Для малых машин эту операцию осуществляют вручную, для больших — с помощью лома или крана. В последнем случае на вал наматывают несколько витков троса, один конец которого закреплен на валу и освобождается при раскручивании, а другой прикреплен к крюку крана.

Такая проверка обязательна перед пуском машины или после длительной ее стоянки в условиях, когда в машину могли попасть посторонние предметы.

Проверка механических креплений

Крепление деталей машины, особенно на вращающейся части, проверяют при обнаружении вибрации или постороннего шума в машине. Затяжку болтов проверяют гаечным ключом, снабженным ограничителем прилагаемого усилия. Особое внимание должно быть обращено на предохранители от самоотвинчивания гаек и болтов на вращающейся части машины. Проверяют также плотность посадки катушек на полюсах и клиньев в пазах.

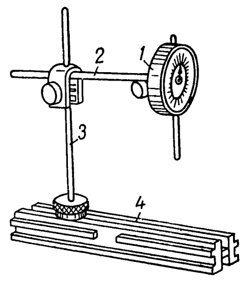


Рис. V.2. Внешний вид индикатора:

1 — индикатор; *2* — штанга; *3* — стойка; *4* — полозья.

Измерение биения деталей электрических машин

Биение деталей вращающейся части машины (вала, сердечника, коллектора и др.) измеряют индикатором (рис. V.2), укрепленным на штативе так, что его наконечник упирается в исследуемую деталь вращающейся части. Ось наконечника должна являться как бы продолжением диаметра детали.

Подвижной части машины сообщается медленное вращение, разность между максимальным и минимальным показаниями индикатора определяет значение биения. При этом необходимо следить за равномерностью изменения показаний индикатора. Скачкообразные изменения, вызванные дефектами цилиндрической поверхности исследуемой детали, не должны учитываться при определении биения.

Испытание изоляции обмоток

Измерение сопротивления изоляции

Методика измерения сопротивления изоляции и технические характеристики мегомметров приведены в гл. III.

Сопротивление изоляции обмоток ЭМ напряжением до 1000 В измеряют с помощью мегомметра на напряжение 500—1000 В, а обмоток напряжением выше 1000 В — мегомметром 1000—2500 В.

Сопротивление изоляции обмоток ЭМ, имеющей шесть выводов, следует измерять пофазно; обмотки фаз, где сопротивление не измеряется, присоединяют к корпусу. Если напряжение машины не превышает 1000 В, сопротивление изоляции при приемосдаточных и профилактических испытаниях не нормируется. Сопротивление изоляции обмоток ЭМ относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей температуре машины не должно быть ниже

$$R_{60} = \frac{U}{1000 + \frac{P}{100}} \text{ [МОм]}, \qquad (V.1)$$

но при этом не менее 0,5 МОм. Здесь U — номинальное напряжение обмотки машины, В; P — номинальная мощность машины, кВ · А (для машин постоянного тока, кВт).

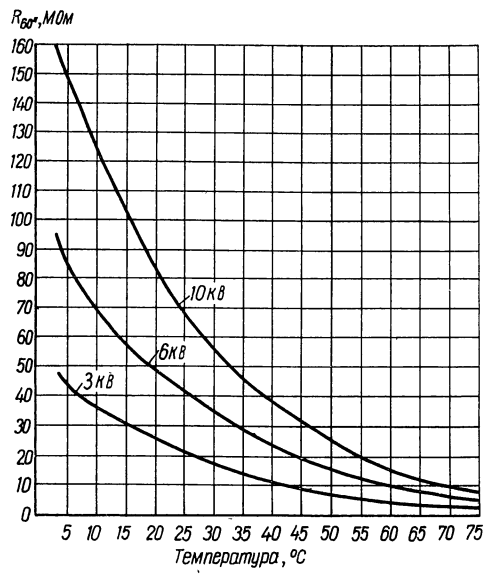


Рис. V.3. Зависимость наименьшего допустимого сопротивления изоляции R_{60} обмоток электрических машин мощностью до 5000 кВт от температуры обмотки при измерении.

Таблица V.1. **Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции одной фазы или ветви обмоток статоров ЭМ до 5000 кВт при $U_{ном}$ до 10,5 кВ**

Температура обмотки, °С	R_{60}, МОм, при $U_н$, кВ		
	3—3,15	6—6,3	10—10,5
10	35	75	125
20	25	50	85
30	18	35	60
40	12	24	40
50	9	16	27
60	6	10	18
75	3	6	10

В случае измерения сопротивления изоляции при температуре ниже рабочей полученное из выражения (V.1) сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20 °С (полные или неполные) разности между рабочей температурой и температурой, при которой выполнено измерение.

Для вновь вводимых в эксплуатацию машин с номинальным напряжением выше 1000 В наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции нормируются «Инструкцией по определению возможности включения вращающихся машин переменного тока без сушки» (СН 241—63) (табл. V.1).

Температурная зависимость наименьшего допустимого сопротивления изоляции R_{60} обмоток электрических машин мощностью до 5000 кВт приведена на рис. V.3.

Для электрических машин мощностью выше 5000 кВт, а также для всех машин с номинальным напряжением выше 10,5 кВ наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции одной фазы или ветви обмотки статора R_{60} при температуре 75 °С определяется по выражению (V.1). При температурах ниже 75 °С наименьшее допустимое значение R_{60} определяется путем умножения значения сопротивления изоляции, вычисленного по выражению (V.1), на коэффициент K_T, значения которого для температур от +10 до + 75 °С таковы:

t, °С	75	70	60	50	40	30	20	10
K_T	1,0	1,2	1,8	2,6	3,9	5,5	8,5	12

Сопротивление изоляции обмоток роторов ЭМ при температуре от +10 до +30 °С должно быть для генераторов и синхронных компенсаторов не менее 0,5 МОм; для двигателей — не менее 0,2 МОм.

Допускается ввод в эксплуатацию неявнополюсных роторов синхронных машин, имеющих сопротивление изоляции не ниже 2000 Ом при 75 °С или 20 000 Ом при 20 °С. Сопротивление изоляции обмотки ротора электрических машин измеряется мегомметром 1000 В. У синхронных генераторов и компенсаторов можно проводить измерения мегомметром на напряжение 500 В.

По окончании измерения сопротивления изоляций для предотвращения возможности поражения персонала при прикосновении к выводам обмоток, согласно ГОСТ 11828—75, каждая обмотка на номинальное напряжение 3 кВ соединяется с корпусом машины на время не менее 15 с при мощности машины до 1000 кВт и не менее 1 мин при более высокой мощности. При пользовании мегомметром на 2500 В продолжительность соединения с корпусом не должна быть меньше 3 мин.

Определение возможности включения электрических машин переменного тока без сушки

Условия включения электрических машин без сушки, методика измерения и нормы для оценки состояния изоляции приведены в «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки» (СН 241—63).

По условиям включения без сушки электрические машины условно разбиты на две группы: 1-я — электродвигатели мощностью до 5000 кВт включительно, имеющие скорость вращения не более 1500 об/мин; 2-я — генераторы и синхронные компенсаторы, а также электродвигатели, не отнесенные к 1-й группе.

Возможность включения электрических машин без сушки определяется на основании испытаний изоляции: а) абсолютные значения сопротивления изоляции R_{60} обмоток, измеренные при температуре не ниже + 10 °С, должны быть не меньше значений, указанных в табл. V.1 для данной температуры; б) значение коэффициента абсорбции R_{60}/R_{15} (см. гл. III) при температуре от 10 до + 30 °С должно быть для ЭМ 1-й группы не ниже 1,2; для ЭМ 2-й группы — не ниже 1,3; в) характеристика зависимости токов утечки через изоляцию обмотки от испытательного напряжения выпрямленного тока $i_{ут} = f(U_{исп})$ не должна иметь крутого изгиба; значение коэффициента нелинейности K_U должно быть не более 3.

Для машин 1-й группы включение без сушки допустимо при соблюдении либо условий «а» и «б», либо «а» и «в», либо «б» и «в». Если

соблюдаются условия «а» и «в», то коэффициент абсорбции должен быть не ниже 1,1 и коэффициент нелинейности — не более 1,2. При выполнении условий «б» и «в» коэффициент нелинейности не должен превышать 1,2. Испытания по условию «в» производятся только в том случае, если одно из условий «а» или «б» не выполнено.

Для двигателей, имеющих только три вывода обмотки статора, токи утечки не измеряют. В этих случаях обязательными условиями включения без сушки являются соблюдение либо одного условия «а» при значении R_{60} всех трех фаз для обмотки статора не менее приведенного в табл. V.1, либо комбинации «а» и «б», но при значении R_{60}, уменьшенном в два раза по сравнению с указанным в табл. V.1.

Для машин 2-й группы при напряжении ниже 15,75 кВ достаточным для включения без сушки является соблюдение либо условий «а» и «в», либо «б» и «в». В первом случае надо, чтобы коэффициент абсорбции имел значение не меньше 1,2, коэффициент нелинейности — не больше 1,3. Для машин 2-й группы напряжением 15,75 кВ и выше и ЭМ с разъемным статором достаточным условием для включения без сушки является соблюдение всех трех условий («а», «б» и «в»).

Для генераторов с непосредственным водяным охлаждением токи утечки не измеряются.

Измерение коэффициента абсорбции и токов утечки с помощью кенотронного аппарата, как и измерение сопротивления изоляции, следует выполнять пофазно. При испытании изоляции какой-либо фазы две другие должны быть соединены с корпусом машины.

Измерение токов утечки с помощью кенотронного аппарата для построения характеристики $i_{ут} = f(U_{исп})$ должно производиться не менее чем при пяти значениях испытательного напряжения равными ступенями в пределах от $U_{мин}$ до $U_{макс}$. Значение $U_{макс}$ для машин 1-й группы принимается равным 2,5 $U_{ном}$, а для машин 2-й группы — в соответствии с табл. V.2. Значение $U_{мин}$ для машин 1-й группы принимается равным 0,5 $U_{ном}$, а для машин 2-й группы — не более 0,2 $U_{макс}$. Рекомендуемое значение ступеней испытательного напряжения для машин 1-й группы — 0,5 $U_{ном}$ испытываемой машины.

Таблица V.2. **Значения $U_{макс}$ для машин 2-й группы**

Мощность, кВ · А	Номинальное напряжение, В	Испытательное напряжение, В
Менее 1000	Все напряжения	$1{,}2\,(2U_{ном} + 1000)$
1000 и более	До 3300 включительно	$1{,}2\,(2U_{ном} + 1000)$
	Выше 3300 и до 6600 включительно	$1{,}2 \cdot 2{,}5U_{ном}$
	Выше 6600	$1{,}2\,(2U_{ном} + 3000)$

На каждой ступени напряжение выдерживают в течение 1 мин и отсчитывают ток утечки через 15 и 60 с. Повышение напряжения до следующей ступени осуществляют без снятия напряжения изоляции машины.

Коэффициент нелинейности $K_U = \frac{R_{U_{мин}}}{R_{U_{макс}}}$ определяется по 60-секундным значениям токов утечки $i_{U_{мин}}$ и $i_{U_{макс}}$ при испытательных напряжениях $U_{мин}$ и $U_{макс}$;

$$R_{U_{мин}} = \frac{U_{мин}}{i_{U_{мин}}} \text{ [МОм]},$$

$$R_{U_{макс}} = \frac{U_{макс}}{i_{U_{макс}}} \text{ [МОм]}.$$

Если при неизменном испытательном напряжении ток утечки нарастает, то испытание следует прекратить. Возобновить его можно после устранения неисправности. Прекращать испытание необходимо, если в кривой зависимости токов утечки появится крутой изгиб или если токи утечки достигли следующих предельных значений:

Напряженне	$0{,}5U_{ном}$	$1{,}0U_{ном}$	$1{,}5U_{ном}$	$2{,}0U_{ном}$	$2{,}5U_{ном}$	$3{,}0U_{ном}$
Ток утечки, мкА	250	500	1000	2000	3000	3500

При крутом изгибе кривой зависимости токов утечки от испытательного напряжения включение машины без сушки не допускается. Если кривая токов утечки не имеет крутого изгиба, но токи утечки превышают допустимое значение, а коэффициент нелинейности K_U не превышает 3, машину следует подвергнуть контрольному прогреву до температуры обмотки + 75 °С. Если сопротивление изоляции R_{60} при этой температуре не ниже вычисленного по (V.1), то машину можно включать в эксплуатацию без сушки.

Для измерений токов утечки следует пользоваться измерительными приборами класса не ниже 1,5. Токи утечки самой испытательной схемы должны быть сведены к минимуму. Чтобы убедиться в том, что токов утечки в испытательной схеме нет, напряжение повышают до максимального при полностью собранной схеме до подсоединения обмоток машины.

Изоляция обмоток статора ЭМ перед включением в эксплуатацию должна быть испытана повышенным напряжением переменного тока по действующим нормам. Испытание изоляции максимальным напряжением выпрямленного тока $U_{макс}$ при снятии зависимости токов утечки считается одновременно и испытанием изоляции на электрическую прочность повышенным напряжением выпрямленного тока.

Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением

Методика и аппаратура для испытаний изоляции повышенным напряжением описаны в гл. III и IV. Значения испытательных напряжений при приемосдаточных и профилактических испытаниях изоляции приведены в последующих разделах справочника. Испытание повышенным напряжением изоляции обмоток машин, имеющих шесть выводов, осуществляется пофазно. При испытании изоляции какой-либо фазы две другие соединяют с корпусом.

ГОСТ 11828—75 содержит требование измерять испытательное напряжение непосредственно у объекта испытания, т. е. в цепи вторич-

ного (трансформированного) напряжения, а не путем перерасчета напряжения, подводимого к испытательному трансформатору, в соответствии с его коэффициентом трансформации. ГОСТ 11828—75 рекомендует при испытаниях обмоток с номинальным напряжением 6000 В и выше машин мощностью более 2000 кВ · А включать параллельно испытываемой обмотке шаровой разрядник с пробивным напряжением на 10 % выше испытательного.

Изоляция считается выдержавшей испытание, если не произошло ее пробоя; явление короны или поверхностные скользящие разряды при этом не принимаются во внимание. С поверхностными разрядами не следует смешивать пробой по поверхности, сопровождающийся, в отличие от первых, повреждением наружных слоев изоляции и резким понижением их сопротивления.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Цель таких измерений — выявление дефектов (некачественных соединений, витковых замыканий), ошибок в схеме соединений, а также уточнение параметров, используемых при расчетах и наладке режимов, регуляторов и др. Измерения, особенно у крупных машин, следует выполнять с особой тщательностью и высокой точностью. Методика измерений изложена в гл. II.

Сопротивление измеряют либо с помощью амперметра и вольтметра, либо двойным мостом. Если сопротивление больше 1 Ом, то необходимая точность измерений достигается одинарным мостом.

У машин, имеющих только три вывода обмотки статора (соединение обмоток в звезду или треугольник выполнено внутри машины), сопротивление постоянному току измеряют между выводами попарно. Сопротивление отдельных фаз в этом случае определяется из следующих выражений:

для соединения в звезду

$$R_1 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{1,3} - R_{2,3}),$$

$$R_2 = \frac{1}{2}(R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}),$$

$$R_3 = \frac{1}{2}(R_{1,3} + R_{2,3} - R_{1,2});$$

при одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{R_{1,2}}{2};$$

для соединения в треугольник

$$R_1 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{2,3}R_{1,3}}{-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3}} - (-R_{1,2} + R_{2,3} + R_{1,3})\right],$$

$$R_2 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{1,3}R_{1,2}}{R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3}} - (R_{1,2} - R_{2,3} + R_{1,3})\right],$$

$$R_3 = \frac{1}{2}\left[\frac{4R_{1,2}R_{2,3}}{R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3}} - (R_{1,2} + R_{2,3} - R_{1,3})\right];$$

при одинаковых значениях измеренных сопротивлений

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{3}{2} R_{1,2}.$$

При измерении сопротивления особое значение имеет правильное определение температуры обмотки. Для измерения температуры применяют как заложенные температурные индикаторы, так и встраиваемые термометры и температурные индикаторы; последние должны быть введены не позднее чем за 15 мин до начала измерения сопротивления.

Согласно ГОСТ 11828—75, для измерения температуры обмоток машин мощностью до 10 кВт устанавливают один термометр или температурный индикатор; для машин мощностью до 100 кВт — не менее двух; для машин мощностью от 100 до 1000 кВт — не менее трех; для машин свыше 1000 кВт — не менее четырех. В качестве температуры обмоток принимается среднее арифметическое измеренных значений.

При измерении сопротивлений обмоток в практически холодном состоянии температура обмоток не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на ± 3 °С.

Если невозможно непосредственно измерить температуру обмоток, машина должна находиться в данной окружающей среде в нерабочем состоянии до измерения сопротивления обмоток в течение времени, достаточного для того, чтобы все части машины практически приняли температуру окружающей среды. Изменение температуры окружающей среды за это время не должно быть более ± 5 °С. В качестве температуры обмоток при этом принимают температуру окружающей среды в момент измерения сопротивлений.

Измерение сопротивления повторяют несколько раз.

Согласно ГОСТ 11828—75, измерения с помощью амперметра и вольтметра выполняют три раза при различных значениях тока; при применении мостовых схем следует нарушать перед каждым измерением равновесие моста. Результаты измерений одного и того же сопротивления не должны отличаться от среднего более чем на ± 0,5 %; в качестве действительного сопротивления принимается среднее арифметическое результатов всех измерений, удовлетворяющих этому требованию.

Результаты измерений по отдельным фазам сравниваются между собой, а также с результатами предыдущих (в том числе заводских) измерений. Значения допустимых расхождений, регламентируемые нормами, приводятся в последующих разделах справочника. Для сравнения результатов измерений, проведенных при различных температурах обмоток, измеренные значения приводят к одной температуре (обычно к 15 или 20 °С) по выражению (II.3).

Пуск двигателя

Первый пробный пуск электродвигателя производится после окончания испытаний двигателя при их положительных результатах.

Для пуска двигателя должно быть получено разрешение от организации, выполнявшей монтаж и ревизию двигателя, а при пуске двигателя с механизмом — также от организации, проводившей монтаж механизма. Пуск двигателя вхолостую или с незагруженным механизмом должен быть тщательно подготовлен и проведен с максимальной осторожностью.

Перед подачей на двигатель рабочего напряжения необходимо убедиться в том, что в машине нет посторонних предметов, проверить

состояние подшипников и масла в них, надежность заземления корпуса двигателя. Защиты двигателя должны быть испытаны и введены с минимальными по условиям пуска уставками. Перед первым пробным пуском следует вручную, с помощью лома или крана провернуть ротор двигателя и проверить его свободный ход. Необходимо также предусмотреть аварийное снятие напряжения в случае отказа схемы управления.

В пуске должны принимать участие представители монтажных и эксплуатационной организаций. Предварительно перед пуском следует расставить наблюдающих за работой двигателя и механизма, четко определив их обязанности. Первое включение двигателя длится 1—2 с. Проверяется направление вращения, состояние ходовой части, действие отключающих устройств. При удовлетворительных результатах первого пуска осуществляется кратковременное включение и разгон двигателя до номинальной частоты вращения. При этом следят за током нагрузки, коммутацией щеток, определяют по звуку, не задевают ли вращающиеся части неподвижные, нет ли вибрации, убеждаются в правильности работы смазки подшипников. Во всех случаях сигнала о неисправностях при всех пробных пусках двигатель отключается немедленно, без предупреждения. При удовлетворительных результатах пробных пусков включают двигатель на более продолжительное время на обкатку. Проверяют нагрев подшипников, обмотки железа двигателя.

При пробных пусках двигателей-генераторов цепь обмотки возбуждения генератора следует разомкнуть.

Определение характеристики холостого хода

Характеристикой холостого хода (х.х.х.) называют зависимость напряжения на выводах ненагруженного якоря $U_я$ от тока в обмотке возбуждения $I_в$ при вращении машины с постоянной частотой n (обычно номинальной) в генераторном режиме, т. е. $U_я = f(I_в)$ при $I_я = 0$ и $n = \mathrm{const} = n_{ном}$. Х. х. х. являются кривыми намагничивания МПТ и СМ. Их используют для сравнения кривой, полученной опытным путем, с расчетной, выявления витковых замыканий и прочих отклонений в обмотках возбуждения, получения необходимых данных для определения основных параметров машин и др. В процессе снятия х. х. х., как правило, испытывают междувитковую изоляцию якорных обмоток. Допускается снятие х. х. х. при частоте вращения машины n, не равной номинальной; при этом для получения действительной характеристики напряжение рассчитывают по формуле

$$U_д = U_0 \frac{n_{ном}}{n},$$

где $U_д$ и U_0 — напряжение соответственно действительной характеристики и характеристики, снятой при опыте.

Ток возбуждения изменяют с помощью регулировочного реостата в цепи обмотки возбуждения испытываемой машины или ее возбудителя. Изменять ток нужно плавно, небольшими ступенями и только в одном направлении — либо увеличивать, либо уменьшать, иначе вследствие влияния гистерезиса характеристика окажется искаженной. Измерения производят вольтметром и амперметром (с шунтом) класса не менее 0,5. Шунт врезают в такой точке цепи возбуждения, чтобы результаты измерения не были искажены токами параллельных це-

пей. Отсчет осуществляется одновременно по обоим приборам при установившихся показаниях. Для измерения остаточного напряжения цепь возбуждения разрывают.

При построении характеристики отношение масштабов напряжения и тока должно быть примерно 2 : 1. Х.х.х. часто строят в относительных единицах; за единицу напряжения принимают номинальное его значение, а за единицу тока возбуждения — значение, соответствующее номинальному напряжению при холостом ходе.

Испытание электрических машин на нагрев

Целью испытания ЭМ на нагрев является определение допустимых или установление номинальных нагрузок рабочих обмоток и сердечников для обеспечения нормальных условий работы изоляции. Изоляция обмоток представляет собой наиболее уязвимую в смысле нагрева часть ЭМ, поскольку обмотки, выполненные из меди или алюминия, и сердечники, выполненные из железа, допускают значительно более высокие температуры. Повышение температуры изоляции сверх допустимой, если и не приводит к быстрому ее разрушению и пробою, то ускоряет старение и сокращает срок ее службы (табл. V.3).

При испытаниях на нагрев измеряют температуру всех активных частей ЭМ и охлаждающей среды, а также токи и напряжения обмоток.

Измерение температуры

ГОСТ 11828—75 предусматривает для определения температуры ЭМ четыре способа: с помощью термометра, косвенно по изменению сопротивления, по заложенным и по встраиваемым температурным индикаторам.

Измерение температуры с помощью термометра дает представление о нагреве той точки, где приложен термометр. Как правило, это наименее нагретая часть машины, находящаяся на поверхности, а потому удобная для измерения. Используются термометры расширения (ртутные, спиртовые), а также незаложенные термопары и термометры сопротивления. Баллончик термометра расширения, рабочий конец термопары или термометр сопротивления прикладывают к нужной точке машины и изолируют от окружающей среды теплоизоляционным материалом (ватой и т. п.). Отсчет производят с учетом инерционности термометра.

С помощью термометров обычно измеряют температуру охлаждающей среды. При этом, если для вентиляции машины служит окружающий воздух, термометры устанавливают в нескольких точках вокруг машины на расстоянии 1—2 м на уровне оси машины. Если машина оборудована воздуховодами горячего и холодного воздуха (или газа), температуру измеряют несколькими термометрами, устанавливаемыми возле входных и выходных патрубков машины. Так как температуру входящего в машину охлаждающего воздуха следует измерять особенно тщательно, применяемые для этой цели термометры должны иметь цену деления 0,1—0,2 °С. Устанавливаемые у входа и выхода из машины охлаждающего воздуха (газа) термометры должны быть хорошо уплотнены во избежание утечек воздуха.

Согласно ГОСТ 11828—75 в качестве температуры охлаждающего воздуха во время испытаний принимают среднее арифметическое показаний всех термометров, взятых через равные промежутки времени в течение последнего часа испытания машины на нагревание. Приме-

Таблица V.3. **Нагревостойкость* электроизоляционных материалов**

Характеристика изоляционного материала	Температура, характеризующая нагревостойкость, °С	Обозначение класса нагревостойкости	
		старое	по ГОСТ 8865—70
Не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, а также соответствующие этому классу другие материалы и сочетания материалов	90	*O*	*Y*
Пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы, хлопка или шелка, а также соответствующие этому классу другие материалы и сочетания материалов	105	*A*	*A*
Некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие этому классу материалы (волокна, смолы, компаунды)	120	*AB*	*E*
Материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими составами, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	130	*B*	*B*
Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими составами, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	155	*BC*	*F*
Материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	180	*CB*	*H*
Слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими и элементоорганическими связующими составами, а также соответствующие этому классу другие материалы и их сочетания	Свыше 180	*C*	*C*

* Согласно ГОСТ 8865—70 нагревостойкостью электроизоляционного материала или изоляции называется способность без повреждения и без существенного ухудшения практически важных свойств длительно выдерживать воздействие повышенной против нормальной температуры.

нение ртутных термометров в местах, где имеются переменные магнитные поля, нежелательно, так как возможны существенные ошибки измерения.

Определение температуры по изменению сопротивления основано на зависимости между сопротивлением проводника, измеренным на постоянном токе, и его средней температурой (гл. II). Температуру проводника (обмотки) при известном сопротивлении его в горячем и практически холодном состояниях определяют из выражения (II.3). Этим способом можно определить среднюю температуру проводников обмотки и в большинстве случаев получить более полную картину ее нагрева. Для обмоток постоянного тока как неподвижных, так и вращающихся, этот способ применяют при измерении температуры работающей машины. Для обмоток переменного тока пользоваться этим способом можно только после снятия с них переменного напряжения. В холодном и горячем состояниях сопротивление обмотки необходимо измерять одними и теми же приборами, так как это дает требуемую точность определения температуры. Если сопротивление обмоток переменного тока измеряют после снятия напряжения, но без остановки машины, для устранения влияния остаточных переменных напряжений применяют устройства размагничивания, индуктивно-емкостные фильтры и измерительные приборы магнитоэлектрической системы.

Заложенные температурные индикаторы (термопары или термометры сопротивления) предусматриваются ГОСТами и техническими условиями при изготовлении ЭМ некоторых типов и габаритных размеров турбо- и гидрогенераторов, синхронных компенсаторов, крупных АД и др.). С их помощью осуществляется контроль за нагревом машины в процессе ее эксплуатации. Температурные индикаторы закладывают в таких точках машины, где ожидается наибольший нагрев обмоток и активной стали. Эти точки обычно недоступны для осмотра после изготовления машины. Обычно в машину закладывают не меньше шести индикаторов: три для измерения температуры обмотки и три для измерения температуры активной стали. Индикаторы, расположенные равномерно по окружности машины, должны соприкасаться с измеряемой поверхностью и быть надежно защищены от воздействия охлаждающей среды. Если в качестве индикаторов применены термопары, все отмеченное выше относится к их рабочим концам; свободные концы термопар располагают в месте входа в машину холодного воздуха (газа). Измеряемая ЭДС пропорциональна превышению температуры обмотки или стали машины над температурой воздуха.

Для контроля за нагревом машины в процессе эксплуатации применяют либо милливольтметры (с термопарами), либо логометры (с термометрами сопротивления). При испытаниях на нагрев для получения точных данных измерений в первом случае используют переносные потенциометры или образцовые милливольтметры, во втором — лабораторные одинарные мосты. В некоторых случаях при отсутствии данных о характеристике заложенных термопар их можно получить с помощью термостата и переносного потенциометра, исследуя извлеченный из машины небольшой кусок термопары.

При использовании встраиваемых температурных индикаторов в отличие от предыдущего способа индикаторы устанавливают на машине после ее изготовления только на время проведения испытания. На обмотках температурные индикаторы встраивают в лобовые или пазовые части в доступных точках, в которых ожидаются наибольшие температуры. В лобовых частях проволочных обмоток индикатор может быть встроен между проводами при условии, что напряжение по отношению к корпусу в данной точке невелико. Чаще всего выбирают точку, близкую к нулевой, которую заземляют наглухо или

через пробивной предохранитель. У машин с жесткими или запеченными секциями температурные индикаторы устанавливают у поверхности изоляции на лобовой части или под клином в пазу. В активной стали индикаторы встраивают между отдельными листами на глубине не менее 5 мм. Чтобы не повредить изоляцию, листы осторожно разводят ножом или отверткой, вводя между ними индикатор. После удаления ножа индикатор оказывается зажатым. Встраиваемый индикатор надежно укрепляют шпагатом или киперной лентой и изолируют на всем протяжении в наиболее опасных местах. Место измерения температуры, кроме того, покрывают тепловой изоляцией.

Определение превышения температуры частей машины

Количество тепла, выделяемого во время работы при номинальной нагрузке ЭМ, определяют по формуле

$$Q = \frac{P_{ном}}{\eta} - P_{ном} \ [кВт],$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, кВт; η — КПД машины.

ГОСТ 183—74, а также ГОСТы на отдельные виды ЭМ устанавливают предельно допустимое превышение температуры частей машин по сравнению с температурой охлаждающей среды. Под превышением температуры какой-либо части электрической машины по сравнению с температурой охлаждающей среды $t_{ох}$ понимают $\nu = t_м - t_{ох}$, где $t_м$ — температура данной части ЭМ, измеренная одним из приведенных выше методов.

Предельные допускаемые превышения температуры частей электрических машин при температуре газообразной охлаждающей среды + 40 °С и высоте над уровнем моря не более 1000 м, если они не указаны в стандартах на отдельные типы машин, не должны превосходить значения, приведенные в табл. V.4 (ГОСТ 183—74).

Для обмоток машин переменного тока на номинальное напряжение выше 11 000 В предельные допускаемые превышения температуры должны быть снижены на каждые 1000 В (полные и неполные) сверх 11 000 В на 1,5 °С при измерении термометром и на 1,0 °С при измерении температуры индикатором. Для турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток на номинальные напряжения 11 000—17 000 В предельные допускаемые превышения температуры должны быть снижены на каждые 1000 В (полные и неполные) сверх 11 000 В на 1,0 °С, а сверх 17 000 В — соответственно на 0,5 °С. Для турбогенераторов с непосредственным охлаждением обмоток поправки в превышение температуры не вносят.

Предпочтительным методом измерения превышения температуры обмоток, за исключением обмоток, указанных в п. 1 табл. V.4, является метод сопротивления. Измерение термометром допускается только в тех случаях, когда метод сопротивления по каким-либо причинам нельзя применить. Предельные допускаемые превышения температуры для этих случаев указаны в табл. V.4. Если в дополнение к значениям, полученным по сопротивлению, желательно контролировать температуру термометром, то превышения температуры, измеренные в наиболее нагретой доступной точке, не должны превосходить следующих значений:

Класс изоляции	*A*	*E*	*B*	*F*	*H*
Превышение температуры, °С	65	80	90	110	135

Предельная допускаемая температура, согласно ГОСТ 183—74, составляет для подшипников скольжения + 80 °С, для масла в них + 65 °С и для нормальных подшипников качения + 100 °С.

Пользуясь понятием «превышение температуры», можно сравнивать результаты, полученные при разных значениях температуры охлаждающей среды.

Предельная допускаемая температура для частей ЭМ определяется как сумма превышения температуры по табл. V.4 и температуры + 40 °С.

В некоторых случаях при испытаниях на нагрев кроме превышения температуры частей ЭМ измеряют превышение температуры выходящего из машины охлаждающего воздуха по сравнению с входящим. Это дает возможность определить КПД машины при нагрузке данного опыта и судить о ее тепловом состоянии, хотя эти превышения не нормируются. Для СМ значение превышения обычно составляет не больше 30 °С. Превышение температуры выходящего из машины воздуха используют при проверочных расчетах вентиляции машины.

Испытание машин, предназначенных для продолжительной работы в номинальном режиме

При испытании на нагрев таких машин проводят несколько опытов (обычно четыре) при нагрузках, близких к 60, 75, 90 и 100 % номинальной. Если на основании результатов опытов возникает предположение, что номинальная мощность машины может быть повышена, то проводят дополнительные опыты при бóльших нагрузках. Измерения, принимаемые за основу при определении превышения температуры, производят при установившемся электрическом и тепловом режимах машины. Под практически установившейся температурой понимают температуру какой-либо части машины, изменение которой в течение 1 ч не превышает 1 °С при условии, что нагрузка машины и температура охлаждающей среды остаются неизменными.

Для обеспечения установившегося электрического режима необходимо тщательно следить за напряжением и током якоря и частотой вращения машины и достаточно быстро устранять появляющиеся отклонения, воздействуя на источник напряжения (для двигателей), первичный двигатель (для генераторов) и возбуждение. В случае необходимости автоматические регуляторы машин должны быть отключены на время проведения испытаний. Постоянство температуры охлаждающей среды может быть обеспечено регулированием ее охлаждения (для машин с замкнутой системой вентиляции), устранением беспорядочного обмена воздуха в помещении, где установлена машина, выбором соответствующего времени суток для проведения испытаний и т. п.

Когда режим работы машины установлен, записывают значение токов и напряжений всех обмоток, а также значения температуры, которая может быть измерена без снятия напряжения с машины. Запись проводят в течение часа с интервалом в полчаса (или 15 мин). Затем с обмоток машины снимают напряжение и, если невозможно осуществить необходимые измерения или если это не требует больших затрат времени, машину останавливают. После этого измеряют температуру тех частей машины, которые не могли быть проверены в процессе опыта. Если температура измерена через 15—20 с после снятия

Таблица V.4. **Предельные допускаемые превышения температур частей**

Части ЭМ	Изоляционный				
	A			E	
	Предельно				
	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению
1. Обмотки переменного тока машин мощностью 5000 кВ · А и выше с длиной сердечника 1 м и более	—	60	60	—	70
2. Обмотки переменного тока машин мощностью менее 5000 кВ · А или с длиной сердечника менее 1 м; возбуждения машин постоянного и переменного тока с возбуждением постоянным током, кроме указанных в пп. 3, 4, 5; якорные, соединенные с коллектором	50	60	—	65	75
3. Обмотки возбуждения неявнополюсных машин с возбуждением постоянным током	—	—	—	—	—
4. Обмотки возбуждения однорядные с оголенными поверхностями	65	65	—	80	80
5. Обмотки возбуждения малого сопротивления, имеющие несколько слоев и компенсационные обмотки	60	60	—	75	75
6. Изолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	60	—	—	75	—
7. Неизолированные обмотки, непрерывно замкнутые на себя	Превышение температуры не этих и соседних частей				
8. Сердечники и другие стальные части, не соприкасающиеся с изолированными обмотками					
9. Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с изолированными обмотками	60	—	60	75	—
10. Коллекторы и контактные кольца, незащищенные и защищенные	60	—	—	70	—

Примечания. 1. Для стержневых обмоток ротора асинхронных машин допус ны превосходить допускаемые значения для соприкасающихся обмоток.

электрических машин

материал классов по ГОСТ 8865—70									
	B			*F*			*H*		
допускаемые превышения температуры, °С, определенные									
с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу	с помощью термометра	по сопротивлению	с помощью температурных индикаторов при укладке их между катушками в одном пазу
70	—	80	80	—	100	100	—	125	125
—	70	80	—	85	100	—	105	125	—
—	—	90	—	—	110	—	—	135	—
—	90	90	—	110	110	—	135	135	—
—	80	80	—	100	100	—	125	125	—
—	80	—	—	100	—	—	125	—	—
должно достигать значений, которые создавали бы опасность повреждения									
75	80	—	80	100	—	100	125	—	125
—	80	—	—	90	—	—	100	—	—

кается превышение температуры по п.4, 2. Превышения температур по п.9 не долж-

тока и напряжения, результаты измерений принимают за фактическую температуру частей машины, в противном случае вносят поправку. Для этого температуру обмотки измеряют не менее трех раз, по возможности через одинаковые интервалы времени, продолжительность каждого из которых не должна превышать время, прошедшее от момента отключения машины до момента первого измерения. Это время должно быть не больше 1 мин для машин мощностью до 10 кВт включительно, 1 мин 30 с — для машин мощностью 10—100 кВт и 2 мин — для машин мощностью свыше 100 кВт. По полученным данным находят зависимость $\lg \nu = f(t)$. Затем путем экстраполяции определяют превышение температуры в момент начала снятия тока и напряжения (рис. V.4). Применение логарифмической зависимости упрощает построение и экстраполяцию кривой.

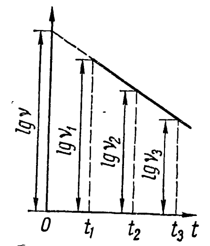


Рис. V.4. Экстраполяция превышения температуры ν на момент отключения.

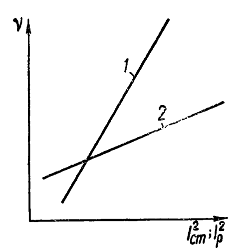


Рис. V.5. Примерный вид кривых зависимости $\nu = f(I^2)$:

1 — для обмотки ротора;
2 — для обмотки статора.

Для быстрого измерения температуры нескольких частей машины после отключения или остановки ее требуются определенные навыки и достаточное количество работников, занятых измерениями.

После обработки результатов измерений всех опытов строят кривые зависимости превышения температуры обмоток ротора и статора (и их сердечников) от квадрата тока в них (рис. V.5). Эти кривые дают возможность проверить правильность полученных результатов по характеру распределения точек на кривой, определить ток, соответствующий предельно допустимому превышению температуры, и путем экстраполяции предопределить допустимое превышение номинальной мощности машины, если оно возможно.

Машины, предназначенные для продолжительного режима работы, чаще всего испытывают на нагрев при непосредственной их нагрузке. Генераторы нагружают либо на общую сеть параллельно с другими генераторами, либо на отдельную регулируемую нагрузку (типа водяного реостата), либо на то и другое вместе. Длительность испытания на нагревание в продолжительном режиме работы, если оно начато от холодного состояния машины, при прочих равных условиях зависит от номинальной мощности и от интенсивности охлаждения машины. В отдельных случаях применяют искусственную нагрузку типа взаимной, когда испытываемый генератор нагружают машиной такой же или бóльшей мощности с потреблением ими небольшой мощности, идущей на покрытие потерь. Непосредственная нагрузка двигателей затруднена, поскольку, как правило, ее сложно поддерживать постоянной, и двигатели чаще всего подвергают испытанию на нагрев в генераторном режиме.

Иногда применяют косвенный метод испытаний на нагрев, при котором машину нагревают в нескольких режимах холостого хода и короткого замыкания, а температуру отдельных ее частей рассчитывают по результатам этих испытаний.

Испытание машин, предназначенных для кратковременного и повторно-кратковременного режимов работы

Рассмотрим машину, режим работы которой характеризуется настолько малым временем включения, что части машины не нагреваются до установившейся температуры, и настолько длительными остановками, что машина успевает практически полностью охладиться. В этом случае испытание проводят в течение времени, которое указано на заводском щитке. Нормальная длительность кратковременного номинального режима (устанавливаемая ГОСТ 183—74) составляет 10; 30; 60 и 90 мин. В начале испытания машина должна находиться в холодном состоянии. Нагрузку необходимо поддерживать неизменной с помощью устройств, позволяющих быстро и плавно ликвидировать отклонения от заданного режима. Температуру измеряют в конце рабочего периода, однако в процессе испытаний желательно ее контролировать.

Под повторно-кратковременным номинальным режимом работы ЭМ понимается такой режим, при котором кратковременная работа машин чередуется с кратковременными отключениями, так что ни при работе, ни при отключении не достигаются установившиеся значения температур частей машины. Отношение длительности работы машины к длительности полного цикла называют продолжительностью включения (ПВ). ПВ может составлять 15; 25; 40 и 60 % (согласно ГОСТ 183—74). Продолжительность одного цикла не превышает 10 мин.

Машины испытывают на нагрев в режиме повторно-кратковременной нагрузки с постоянным ее значением в рабочем периоде и с ПВ, указанным на паспортном щитке машины. Длительность цикла при испытаниях устанавливают равной 10 мин. Температура частей машины, контролируемая в конце рабочего периода и паузы, считается практически повторяющейся, если в течение часа соответствующие температуры не различаются более чем на 2 °С. Во время пауз машину отключают от сети. Однако она может продолжать вращаться (генератор), и возбуждение может оставаться включенным, если предусмотрен такой режим работы. Температуру измеряют после установления практически повторяющейся температуры частей машины по истечении половины времени последнего периода работы. Для ускорения нагрева первые несколько циклов работы можно проводить без пауз. В некоторых случаях испытание на нагрев при повторно-кратковременном режиме работы можно заменить испытанием при эквивалентном по нагреву продолжительном режиме.

Предельно допустимое превышение температуры частей машин с кратковременным номинальным режимом работы по сравнению с соответствующими значениями для машин с продолжительным режимом составляет 10 °С. У машин с повторно-кратковременным номинальным режимом работы допустимое превышение температуры такое же, как у машин с продолжительным номинальным режимом.

Определение потерь и КПД электрических машин

Потери мощности и КПД ЭМ определяют при типовых испытаниях на заводе-изготовителе (ГОСТ 183—74). В программу приемосдаточных и профилактических испытаний не входит определение потерь мощности и КПД; на месте установки такие испытания проводят редко. Их обычно осуществляют при послеремонтных испытаниях машин, а также при испытаниях, связанных с определением технико-экономических показателей установки в целом.

КПД ЭМ называют отношение полезной активной мощности P_2, отдаваемой ею, к подводимой (потребляемой) мощности P_1, а потерями мощности $\Sigma \Delta P$ — разность этих величин:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100 = \frac{P_1 - \sum \Delta P}{P_1} 100 \, [\%],$$

$$\sum \Delta P = P_1 - P_2.$$

Сложность определения КПД заключается в том, что механическая мощность, подводимая к генератору и отдаваемая двигателем, практически не поддается точному измерению. На испытательной станции определяют КПД машины, полностью исправной и обкатанной, а на месте установки — машины в обычном рабочем состоянии.

Непосредственное определение КПД

Способы непосредственного определения КПД обычно менее точны, чем косвенные. Они применяются при заводских испытаниях, если КПД не более 75 %, однако с успехом используются при испытаниях ЭМ на месте их установки. Способ определения КПД путем измерения мощности заключается в том, что две одинаковые ЭМ, потери и КПД которых равны, соединяют и приводят во вращение: одну — в режиме двигателя, другую — в режиме генератора. Потребляемую двигателем $P_{1д}$ и отдаваемую генератором $P_{2г}$ мощность измеряют электрическими приборами. КПД и потери одной машины определяют по формулам

$$\eta = \sqrt{\frac{P_{2г}}{P_{1д}}} 100 \, [\%],$$

$$\sum \Delta P = \frac{P_{1д} - P_{2г}}{2}$$

на основании того, что общий КПД двух последовательно соединенных машин равен произведению их КПД.

С помощью специального тормозного устройства можно измерить вращающий момент на валу машины. Этот способ применяют при испытании ЭМ в режиме двигателя. Потребляемую мощность измеряют электрическими приборами, а отдаваемую определяют как величину, пропорциональную произведению частоты вращения на вращающий момент.

Определение КПД методом нагрузки заключается в том, что подводимую к испытываемому генератору или отдаваемую испытываемым двигателем мощность измеряют электрическими приборами на тарированных вспомогательных ЭМ (двигателе или генераторе). При тарировке вспомогательных машин точно определяют их потери $\Delta P_т$ для

всех значений нагрузки, что дает возможность учитывать их при определении КПД и потерь испытываемых машин по формулам

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 - \Delta P_т} 100 [\%],$$

$$\Delta P = P_1 - P_2 - \Delta P_т.$$

Косвенное определение КПД

Один из способов косвенного определения КПД — способ отдельных потерь. Общие потери электрической машины определяют как сумму следующих отдельно определенных или рассчитанных потерь: 1) в стали $\Delta P_{ст}$; 2) на трение всех видов $\Delta P_{мех}$; 3) основных в цепях рабочих обмоток машины $\Delta P_м$; 4) в переходных контактах щеток $\Delta P_щ$; 5) на возбуждение $\Delta P_{возб}$; 6) добавочных $\Delta P_д$. Таким образом,

$$\sum \Delta P = \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_м + \Delta P_щ + \Delta P_{возб} + \Delta P_д.$$

Способы определения отдельных потерь приведены в соответствующих главах.

При испытаниях на месте установки машин с развитой системой вентиляции, замкнутой или разомкнутой, удовлетворительные результаты могут быть получены при определении отдельных потерь по теплу, уносимому охлаждающим воздухом (газом) и рассеиваемому корпусом. Потери в машине при установившемся режиме определяют следующим образом:

$$\sum \Delta P' = P_в + P_к, \qquad (V\ 2)$$

где $P_в$ — энергия, уносимая охлаждающим воздухом, причем

$$P_в = Qc\gamma (t_г - t_х)\ 10^{-3}\ [кВт],$$

или

$$P_в \cong 1{,}1Q (t_г - t_х)\ [кВт];$$

$P_к$ — мощность, рассеиваемая корпусом машины,

$$P_к = \frac{S (t_к - t_о)}{100}\ [кВт],$$

Q — расход охлаждающего воздуха, м³/с; c — удельная теплоемкость воздуха, равная 10^3 Дж/(кг · °С); γ — плотность воздуха при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и средней температуре воздуха 50 °С, $\gamma = 1{,}093$ кг/м³; S — поверхность корпуса, м²; $t_г$ и $t_х$ — температура выходящего и входящего в машину охлаждающего воздуха, °С; $t_к$ и $t_о$ — температура корпуса и окружающего воздуха, °С.

Для определения отдельных потерь по этому методу проводят опыты в таких режимах работы машины: 1) холостого хода без возбуждения; 2) холостого хода с возбуждением, соответствующим номинальному напряжению якорной обмотки (номинальному результирующему потоку в стали); 3) короткого замыкания при номинальном токе якоря. При этом поддерживается постоянная (номинальная) частота вращения ротора, приборами класса 0,5 контролируется ток в обмотках и напряжение на выводах якоря, измеряется температура активных

частей машины, охлаждающего воздуха и корпуса. Измерения, по которым определяют потери, должны проводиться при установившемся тепловом режиме машины через 2—3 ч после начала опыта. Превышения температуры активных частей обмоток и охлаждающего воздуха, измеренные через 15 мин (три-четыре измерения), не должны различаться более чем на 1 °С. Если температура активных частей машины не может быть измерена в процессе проведения опыта, ее измеряют после снятия возбуждения или остановки машины. Величина, получаемая по формуле (V.2) по данным опыта холостого хода без возбуждения, представляет собой потери на вентиляцию, т. е.

$$\Delta P_{х.х} = \Delta P_{вент}.$$

При опыте холостого хода с возбуждением измеряют сумму потерь на вентиляцию $\Delta P_{вент}$, в стали $\Delta P_{ст}$ и на возбуждение при данном режиме $\Delta P_{возб.\ х.\ х}$. Последние можно рассчитать из выражения

$$\Delta P_{возб.х.х} = I^2_{возб.х.х} R_{возб.\ t}, \qquad (V.3)$$

где $I_{возб.\ х.\ х}$ — ток возбуждения при опыте; $R_{возб.\ t}$ — сопротивление обмотки возбуждения, приведенное к температуре опыта. Поэтому опыт дает возможность определить потери в стали (поскольку потери на вентиляцию определены из предыдущего опыта):

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{х.х.в} - \Delta P_{х.х} - \Delta P_{возб.х.х}.$$

Наконец, опыт короткого замыкания позволяет измерить сумму потерь $\Delta P_{к.\ з}$ на вентиляцию $\Delta P_{вент}$, в обмотках возбуждения и якоря при опыте $\Delta P_{возб.\ к.\ з}$ и $\Delta P_{я.\ к.\ з}$ и добавочные потери в якоре $\Delta P_{д}$.

Рассчитав потери в обмотках возбуждения и якоря аналогично (V.3), получим

$$\Delta P_{возб.к.з} = I^2_{возб.к.з} R_{возб.t},$$
$$\Delta P_{я.к.з} = n I^2_{я} R_{я\ t},$$

где n — число фаз якорной обмотки.

Добавочные потери в якоре

$$\Delta P_{д} = \Delta P_{к.з} - \Delta P_{возб.к.з} - \Delta P_{я.к.з} - \Delta P_{х.х}.$$

Таким образом, опыты позволяют определить следующие потери: 1) вентиляционные, представляющие собой основную часть механических потерь (для определения последних, как правило, достаточно учесть потери в подшипниках, обычно принимаемые равными 0,5—0,6 % мощности машины или определяемые по нагреву масла); 2) в стали; 3) добавочные.

Основные потери в рабочих обмотках машин, включая и потери в обмотках возбуждения, определяются из выражения

$$\Delta P_{обм} = n I^2_{ном} R_{обм\ t},$$

где n — число фаз (иногда ветвей) обмотки; $I_{ном}$ — номинальный ток обмотки (если потери определяют не для номинального режима, то подставляют соответствующее значение тока); $R_{обм\ t}$ — сопротивление обмотки, приведенное к температуре ее при номинальном режиме.

Потери в щетках при номинальном токе соответствующей обмотки определяют как произведение тока на падение напряжения на щетках. Температура щеток должна быть близкой к нормальной.

Этот способ может быть применен и для непосредственного определения потерь и КПД при работе ЭМ при номинальном и других режимах. Потери, определенные по выражению (V.2), сложенные с потерями в подшипниках, в этом случае будут также равны потерям при соответствующем режиме.

К потерям электрической машины относят также: 1) потери в регулировочных реостатах, в постоянно включенных нерегулируемых сопротивлениях, в реактивных катушках и других вспомогательных приборах и аппаратах, необходимых для работы машины в номинальном режиме; 2) потери в возбудителе, подвозбудителе, пусковом электродвигателе и других вспомогательных электромашинах, если они приводятся в движение от вала испытываемой машины; 3) потери во всех подшипниках, поставляемых с машиной; 4) потери в вентиляторе, в водяном и масляном насосах, если они приводятся во вращение от вала испытываемой машины.

Измерение вибрации

Вибрация измеряется на всех подшипниках ЭМ. Вибрацию принято измерять в горизонтально-поперечном (перпендикулярно оси вала), горизонтально-осевом и вертикальном направлениях. Измерения в двух первых направлениях производятся на уровне оси вала, а в вертикальном — в наивысшей точке крышки подшипника. Пример установки виброметра для измерения горизонтально-поперечной вибрации приведен на рис. V.6. Штифт виброметра устанавливается в том направлении, в котором измеряется вибрация.

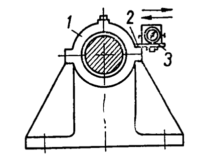


Рис. V.6. Установка виброметра на подшипнике при измерении горизонтально-поперечной вибрации: 1 — подшипник; 2 — крепежная пластинка; 3 — виброметр.

Приборы для измерения вибрации рассмотрены в гл. II. Значения допустимых вибраций приведены в соответствующих главах справочника.

Повышенная вибрация ЭМ может быть вызвана причинами электромагнитного или механического характера. К электромагнитным причинам относят: 1) витковые замыкания или двойные замыкания на корпус в обмотках постоянного тока ЭМ; 2) неправильное выполнение соединений отдельных частей или фаз обмоток; 3) короткое замыкание — междувитковое или междуфазное — в роторных обмотках ЭМ; 4) обрыв одной или нескольких параллельных ветвей обмотки; 5) неравномерный (сверх нормы) воздушный зазор между ротором и статором вследствие неправильной установки частей машины или деформации активной стали; 6) недостаточную жесткость корпуса статора, вследствие чего активная сталь якоря притягивается к полюсам индуктора и вибрирует с частотой, равной двойной частоте вращения; 7) неудачное соотношение чисел зубцов статора и ротора.

Причины механического характера: 1) неправильная центровка агрегата, состоящего из нескольких машин; 2) неуравновешенность некоторых вращающихся частей; 3) ослабление крепления или посадки вращающихся частей; 4) неисправности в соединительной муфте (перекос или биение полумуфт, износ пальцев или других частей; 5) искривление вала; 6) появление овальности шеек вала; 7) нарушение требуе-

мого зазора между шейками вала и вкладышами подшипников (в табл. V.5 даны предельные значения зазоров в подшипниках скольжения); 8) низкая температура масла, входящего в подшипник при принудительной смазке; 9) слабое закрепление машины на фундаменте; 10) лабиринтовые уплотнения подшипников или маслоулавливающих колец, задевающие за вал; 11) дефекты в зубчатых или ременных передачах; 12) совпадение номинальной частоты вращения ротора машины с его критической (резонансной) скоростью; 13) совпадение частоты собственных колебаний фундамента с частотой вращения.

Таблица V.5. **Предельные зазоры в подшипниках скольжения**

Номинальный диаметр вала, мм	Зазоры, мм, при частоте вращения, об/мин		
	< 1000	1001—1500	>1500
19—30	0,04—0,093	0,06—0,13	0,14—0,28
31—50	0,05—0,112	0,075—0,16	0,17—0,34
51—80	0,065—0,135	0,095—0,195	0,2—0,4
81—120	0,08—0,16	0,12—0,235	0,23—0,46
121—180	0,1—0,195	0,15—0,285	0,26—0,53
181—260	0,12—0,255	0,18—0,30	0,3—0,6
261—360	0,14—0,25	0,21—0,38	0,34—0,68
361—500	0,17—0,305	0,25—0,44	0,38—0,76

Определение механических характеристик ЭМ

Механические характеристики ЭМ — механическая постоянная времени $T_{мех}$, момент инерции J или маховой момент GD^2, зависимость вращающего, тормозного и избыточного моментов, а также момента сопротивления приводимого механизма от частоты вращения и времени — весьма существенны при расчете переходных процессов в машинах. Данные о поведении машин при пуске и остановке, торможении и реверсировании, перегрузках и аварийных режимах, связанных со снижением напряжения и частоты в системе, необходимы при выборе настроек автоматических устройств и релейных защит, определении времени пуска, торможения и реверсирования двигателей и т. д. Приводим некоторые способы определения механических характеристик машин на месте их установки.

Маховой момент

Наибольшее распространение получил способ определения махового момента ЭМ при ее самоторможении.

Электрическую машину вращают в режиме ненагруженного двигателя (частоту вращения желательно поднять выше номинальной на 15—20 %), затем машину отключают, и за счет потерь (механических и в активной стали) происходит торможение. С интервалом 5—10 с записывают частоту вращения и время, исчисляемое с момента отключения машины. Зависимости $n = f(t)$ лучше записывать с помощью осциллографа и тахогенератора. В точке, соответствующей номинальной частоте вращения $n_{ном}$, к кривой $n = f(t)$ (рис. V.7) проводится

касательная до пересечения с осью абсцисс. Отрезок оси, заключенный между абсциссой номинальной частоты вращения и точкой пересечения с касательной, называют постоянной времени самоторможения $T_{ном}$.

По полученным данным и измеренным ранее потерям ΔP при номинальной частоте вращения маховой момент может быть определен из выражения

$$GD^2 = \frac{3580 \Delta P T_{ном}}{n^2_{ном}} 10 \ [Н \cdot м^2].$$

Если машина тормозится без снятия возбуждения и при номинальной частоте вращения имеет место номинальное напряжение на якоре (МПТ и СМ), то $\Delta P = \Delta P_{мех} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{возб}$. При самоторможении, без возбуждения (АД) $\Delta P = \Delta P_{мех}$ (на все виды трения).

Маховой момент ЭМ и первичного двигателя (агрегата) GD^2 может быть определен также методом разбега. Опыт проводится следующим образом. Агрегат при номинальной частоте вращения питает некоторую изолированную нагрузку; в установившемся режиме фиксируется подача движущего агента в первичный двигатель (заклинивается дроссельный клапан и т. п.). Затем толчком часть нагрузки P_1 сбрасывается, и частота вращения агрегата начинает повышаться; отмечается промежуток времени Δt, в течение которого частота вращения повысится на величину Δn.

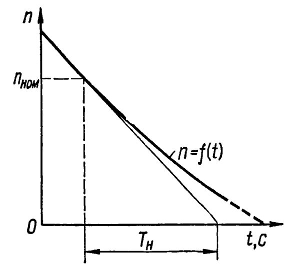


Рис. V.7. Определение механической постоянной времени ЭМ по кривой выбега.

На основании полученных из опыта данных маховой момент

$$GD^2 = \frac{3580 P_1 \Delta t}{n_{ном} \Delta n} 10^3 \ [Н \cdot м^2].$$

Момент инерции и механическая постоянная времени

По известному маховому моменту момент инерции определяют как

$$J = \frac{GD^2}{4g} \ [Н \cdot м \cdot с^2],$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с².

Механическая постоянная времени может быть определена непосредственно из опыта, так как она равна постоянной времени самоторможения:

$$T_{мех} = T_{ном}.$$

Если маховой момент определен каким-либо другим способом или приняты каталожные данные, то механическая постоянная времени определяется выражением

$$T_{мех} = \frac{GD^2 n_{ном}}{375 M_{ном}} \ [с],$$

где $M_{ном}$ — номинальный вращающий момент, Н · м, или

$$T_{мех} = \frac{GD^2 n_{ном}^2}{3580 P_{ном}} 10^{-3} \text{ [c]},$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, кВт.

Механическая характеристика электродвигателя

В некоторых случаях для решения вопроса о возможности запуска или самозапуска приводимого механизма с помощью исследуемого электродвигателя при номинальном или пониженном напряжении необходимо знать механическую характеристику, т. е. зависимость вращающего момента электродвигателя $M_{вр}$ от частоты вращения n или скольжения s при постоянных напряжениях якоря и возбуждения.

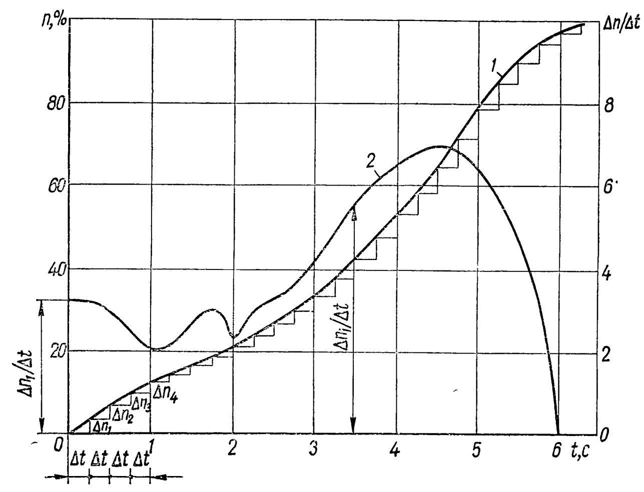


Рис. V.8. Построение механической характеристики двигателя:

1 — снятая кривая $n = f(t)$; *2* — построенная характеристика $\frac{\Delta n}{\Delta t} = f(t)$.

В заводских или лабораторных условиях эту характеристику снимают с помощью специального тормозного устройства, изготовляемого обычно на базе одного или двух МПТ. В пусковых или эксплуатационных условиях такой метод, как правило, неприемлем. Механическая характеристика может быть получена построением на основании данных осциллографирования частоты вращения при пуске двигателя вхолостую. При этом получают кривую зависимости частоты вращения от времени $n = f(t)$, которая показана на рис. V.8. В основе построения механической характеристики лежит соотношение

$$M_{вр} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt},$$

или приближенно

$$M_{вр} \cong \frac{GD^2}{375} \frac{\Delta n}{\Delta t} \text{ [Н} \cdot \text{м]}. \qquad (V.4)$$

Разделив время на интервалы длительностью Δt и определив по кривой $n = f(t)$ соответствующие им приращения частоты вращения Δn, по (V.4) рассчитывают значения вращающего момента для конца каждого интервала или для частоты вращения в данный момент времени. Все это ложится в основу построения механической характеристики $M = f(n)$.

Механическая характеристика приводимого механизма

Механическая характеристика приводимого механизма, т. е. зависимость его момента сопротивления $M_с$ от частоты вращения n [$M_с = f(n)$], может быть получена при осциллографировании частоты вращения агрегата во время пуска.

Избыточный (динамический) ускоряющий момент электропривода

$$M_{из} = M_{вр} - M_с = \frac{GD_а^2}{375} \frac{dn}{dt}, \qquad (V.5)$$

где $M_{вр}$ — вращающий момент двигателя, Н · м; $GD_а^2$ — маховой момент агрегата с нагрузкой (или без нее), приведенной к валу электродвигателя, Н · м².

Согласно (V.5), для любого момента времени при пуске момент сопротивления приводимого механизма

$$M_с = M_{вр} - M_{из} = M_{вр} - \frac{GD_а^2}{375} \frac{dn}{dt}.$$

Маховой момент агрегата определяют по данным опыта самоторможения из равенства

$$GD_а^2 = \frac{3580 T_н P_а}{n_{ном}^2} 10^3 \text{ [Н} \cdot \text{м}^2\text{]},$$

где $P_а$ — мощность, потребляемая электродвигателем из сети при номинальной частоте вращения и измеряемая перед проведением опыта самоторможения. Путем осциллографирования частоты вращения во время пуска агрегата получают графическую зависимость $n = f(t)$, на основании которой по уравнению

$$M_{из} = \frac{GD_а^2}{375} \frac{\Delta n}{\Delta t}$$

строят кривую зависимости $M_{из} = f(n)$. Нанося на диаграмму (рис. V.9) кривые $1 - M_{вр} = f_1(n)$ и $3 - M_{из} = f_2(n)$ и вычитая ординаты при нескольких значениях частоты вращения n, получают механическую характеристику 2 приводимого механизма.

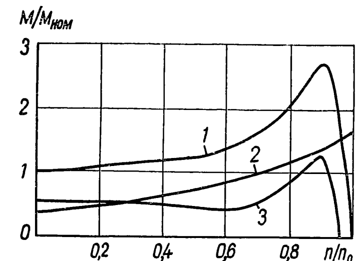


Рис. V.9. Построение механической характеристики приводимого механизма (n_0 — синхронная частота вращения).

Определение начального момента сопротивления механизма или агрегата в целом

Этот момент может быть определен с помощью рычага с грузом, укрепленного на свободной части вала. Увеличивая груз или плечо рычага, достигают положения, при котором под действием созданного ими вращающего момента вал начнет поворачиваться. Тогда начальный момент сопротивления

$$M_{нач} = G_г l_г + \frac{1}{2} G_р l_р \ [Н \cdot м],$$

где $G_г$ и $G_р$ — вес соответственно груза и рычага, Н; $l_г$ и $l_р$ — проекции на горизонталь соответственно расстояния от оси вала до центра тяжести груза и длины рычага, м.

Глава VI

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Объем испытаний

Вводимые в эксплуатацию машины постоянного тока (МПТ) необходимо подвергать, согласно ПУЭ, следующим приемосдаточным испытаниям: 1) определению возможности включения МПТ без сушки; 2) измерению сопротивления изоляции; 3) испытанию повышенным напряжением промышленной частоты; 4) измерению сопротивления постоянному току; 5) снятию характеристики холостого хода и испытанию витковой изоляции; 6) снятию нагрузочной характеристики для возбудителей (при нагрузке на обмотку возбуждения синхронной машины) до значения тока не ниже номинального тока возбуждения; 7) измерению воздушных зазоров между полюсами. Зазоры могут различаться не более чем на 10 % среднего значения; 8) испытанию на холостом ходу и под нагрузкой. При этом определяется предел регулирования частоты вращения или напряжения и степень искрения.

Машины постоянного тока мощностью до 200 кВт, напряжением до 440 В следует испытывать при приемосдаточных испытаниях по пп. 1, 2, 4, 8; все остальные дополнительно по пп. 3, 5. Возбудители (машинные, коллекторные) синхронных генераторов и компенсаторов должны испытываться по пп. 1—6, 8. Измерение воздушных зазоров между полюсами (п. 7) производят для машин, поступивших на место монтажа в разобранном виде. Измерение сопротивления изоляции подшипников и вибрации возбудителей синхронных машин см. в гл. VII.

Помимо перечисленных испытаний в процессе наладочных работ часто возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Осмотр машин постоянного тока (МПТ)

В гл. V даны основные указания по осмотру ЭМ. При осмотре МПТ следует проверить дополнительно правильность расстановки главных и добавочных полюсов (расстояния между краями их башмаков не должны различаться больше чем на 1—2 мм); осмотреть коллектор, обращая внимание на то, чтобы поверхность его была чистой, без царапин и вмятин; изоляцию между пластинами следует выбирать на глубине 1,5—2,5 мм по всей ширине между пластинами, следить, чтобы края пластин не были острыми. Пластины должны прилегать к щетке почти по всей ширине, поэтому закругление поверхности пластин недопустимо (рис. VI.1); коллектор следует очистить от медных стружек и угольной пыли.

При осмотре МПТ нужно проверить правильность выполнения щеткодержателей, а также расстановку и подбор щеток, надежность закрепления траверсы щеткодержателей. На траверсе и на торцовой

крышке машины должны быть заводские отметки; согласно ГОСТ 183—74 по этим отметкам определяют нормальное положение щеток на коллекторе.

Щеткодержатели нужно прочно закреплять на траверсе. Расстояние между нижними краями обойм щеткодержателей и коллектором должно составлять 2—4 мм (рис. VI.2). Обоймы щеткодержателей сле-

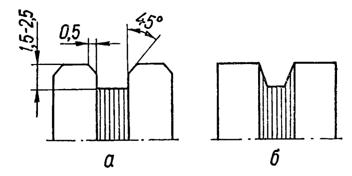


Рис. VI.1. Вид коллекторных пластин:

а — после правильной обработки; *б* — после неправильной обработки

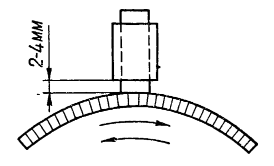


Рис. VI.2. Расположение обоймы щеткодержателя.

дует располагать на пальцах таким образом, чтобы расстояние от края коллектора до щеток обеих полярностей, а также расстояние между ними для одной группы были одинаковыми. Остальные группы щеток необходимо смещать относительно первой (рис. VI.3).

Необходимо следить, чтобы обоймы щеткодержателей не находились слишком близко (по условиям перекрытия по воздуху) к петушкам и другим деталям якоря при его осевом разбеге. Выбор щеток обусловливается скоростью коллектора и силой тока, а также типом машины

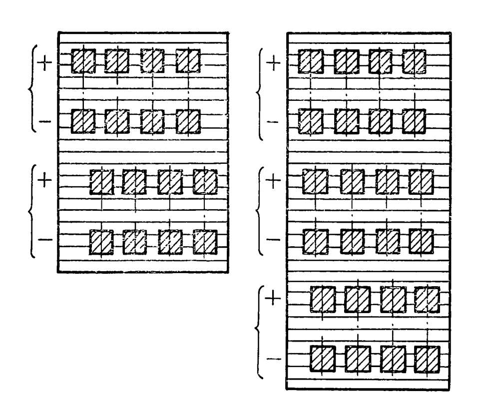


Рис. VI.3. Расположение щеток на коллекторе.

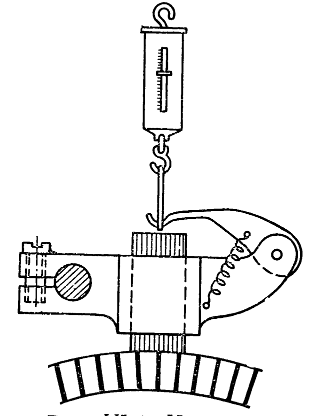


Рис. VI.4. Измерение нажатия щеток динамометром.

(табл. VI.1). В сомнительных случаях силу нажатия щеток нужно проверять с помощью динамометра (рис. VI.4). Щетку следует оттягивать динамометром до такого положения, пока положенный под нее лист бумаги не будет выниматься без усилия. Во избежание заклинивания и поломок из-за слишком свободной посадки щетки в обойме зазор между щеткой и обоймой должен составлять 0,1—0,2 мм. Равномерность расстановки щеток по окружности коллектора проверяют с помощью

Таблица VI.1. **Применение щеток для МПТ**

Машина (тип и назначение)	Условия работы		Рекомендуемые марки щеток	
	Плотность тока, А/см²	Линейная скорость, м/с	основные	дополнительные
Двигатели постоянного тока				
Двигатели общепромышленного применения напряжением 120—220 В с нормальной или несколько затрудненной коммутацией, меняющейся нагрузкой и мощностью около 100 кВт	До 10	20—25	ЭГ14	ЭГ2а
Двигатели подъемников, кранов, насосов				
мощность 10—25 кВт, напряжение до 500 В	До 8	До 15	Г1	ЭГ14, ЭГ9
мощность 10—25 кВт, напряжение до 500 В	До 6	До 10	Т2	ЭГ14, ЭГ9
в случае затрудненной коммутации и загрязнения коллектора средней и большой мощности, в том числе реверсивные, напряжение до 500 В	До 10	15—30	ЭГ2а, ЭГ14, ЭГ8	ЭГ9
Двигатели вспомогательных механизмов прокатных станов	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ15	—
Приводы прокатных станов	9—10	30—40	ЭГ8, ЭГ14, ЭГ15	—
Двигатели реверсивные и нереверсивные для блюмингов, слябингов, рельсобалочных станов и т. п.	До 9	До 50	ЭГ83, ЭГ15	—
Тяговые двигатели				
напряжение 500 В и больше	До 10	30—40	ЭГ2а	ЭГ9
напряжение 220—250 В	До 10	30	ЭГ14	ЭГ9
Генераторы постоянного тока				
Генераторы, возбудители и коллекторы одноякорных преобразователей мощность до 30 кВт, напряжение 110 В	До 9	До 15	ЭГ14	ЭГ2а

Машина (тип и назначение)	Условия работы		Рекомендуемые марки щеток	
	Плотность тока, А/см²	Линейная скорость, м/с	основные	дополнительные
средняя и большая мощность, напряжение 110 В (нагрузка равномерная, коммутация нормальная)	До 10	20—25	Г3	ЭГ2а, ЭГ5, ЭГ14, ЭГ8
средняя и большая мощность, напряжение 110—120 В и больше (нагрузка толчкообразная, коммутация затрудненная), в том числе генераторы преобразовательных агрегатов	До 10	20—30	ЭГ14, ЭГ8, ЭГ83, ЭГ15	—
Сварочные генераторы	—	—	Г3, ЭГ4	ЭГ8
Генераторы пониженного напряжения (для зарядки батарей и электролиза), В				
до 80	До 12	До 20	ЭГ4, ЭГ5	Г3, М3
до 40	До 12	До 20	МГ, М6	М3
12—14	10—15	До 20	МГ4	М1
до 12	До 20	До 20	МГС, СМ	—

полосы бумаги, оборачиваемой вокруг коллектора под щетками; против краев щеток на бумаге наносят риски. Расстояние между рисками не должно разниться более чем на 1—2 мм. Проверка путем подсчета числа коллекторных пластин между щетками дает значительно менее точные результаты.

Правильность маркировки выводов МПТ можно проверить по табл. VI.2.

Таблица VI.2. **Обозначение выводов обмоток МПТ по ГОСТ 183—74**

Название выводов	Начало	Конец
Обмотка якоря	Я1	Я2
Компенсационная обмотка	К1	К2
Обмотка добавочных полюсов	Д1	Д2
Последовательная обмотка возбуждения	С1	С2
Независимая обмотка возбуждения	Н1	Н2
Параллельная обмотка возбуждения	Ш1	Ш2
Пусковая обмотка	П1	П2
Уравнительный провод и уравнительная обмотка	У1	У2
Обмотка особого назначения	01; 03	02; 04

Остаточное напряжение можно обнаружить милливольтметром при проворачивании машины вручную. Иногда это позволяет заблаговременно подготовиться к намагничиванию полюсов МПТ, потерявших остаточный магнетизм. В случае необходимости (повышенная вибрация, сильное искрение щеток и т. д.) измеряют биение вала, коллектора и сердечника якоря. В табл. VI.3 приведены нормы допустимого биения при вращении со скоростью до 1 м/с, принятые в электромашиностроении.

Таблица VI.3. **Допустимые значения биения ротора МПТ**

Диаметры коллектора, мм	Частота вращения, об/мин	Биение, мм		Допустимое увеличение биения в горячем состоянии по сравнению с холодным, мм
		в холодном состоянии	в горячем состоянии	
До 250	До 3000	0,02	0,04	0,02
250 — 350	750 — 2000	0,02	0,04	0,02
350 — 600	600 — 1250	0,03	0,05	0,03
600 — 900	500 — 850	0,03	0,06	0,04
900 — 1500	450 — 700	0,04	0,07	0,04
Свыше 1500	До 400	0,04	0,07	0,05

Испытание изоляции обмоток и бандажей

Измерение сопротивления изоляции

Методика измерений рассмотрена в гл. III и V.

Сопротивление изоляции обмоток относительно корпуса и между собой, а также относительно корпуса и соединенных с ним обмоток бандажей измеряется мегомметром на напряжение 1000 В.

Сопротивление изоляции должно быть не ниже: между обмотками и каждой обмоткой относительно корпуса при температуре от + 10 до + 30 °С — 0,5 МОм; бандажей якоря возбудителя — 1 МОм (бандажей якоря остальных МПТ — не нормируется); цепей возбуждения возбудителя со всеми присоединенными аппаратами (без обмоток возбудителя и ротора синхронной машины) — 1 МОм.

Таблица VI. 4. **Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции R_{60} для обмоток машин в зависимости от температуры**

Температура обмоток, °С	Сопротивление изоляции R_{60}, МОм, при номинальном напряжении машины, В				
	220	460	650	750	900
10	2,7	5,3	8	9,3	10,8
20	1,85	3,7	5,45	6,3	7,5
30	1,3	2,6	3,8	4,4	5,2
40	0,85	1,75	2,5	2,9	3,5
50	0,6	1,2	1,75	2	2,35
60	0,4	0,8	1,15	1,35	1,6
70	0,3	0,5	0,8	0,9	1
75	0,22	0,45	0,65	0,75	0,9

Сопротивление изоляции должно быть также не ниже значений, приведенных в табл. VI.4 и на рис. VI.5 («Инструкция по определению возможности включения вращающихся электрических машин постоянного тока без сушки» (СН 282—64)).

Сопротивление изоляции МПТ, а также всей сети постоянного тока можно определить вольтметром с большим внутренним сопротивлением $R_в$ (не ниже 500 Ом/В). Вольтметр подключают поочередно к обо-

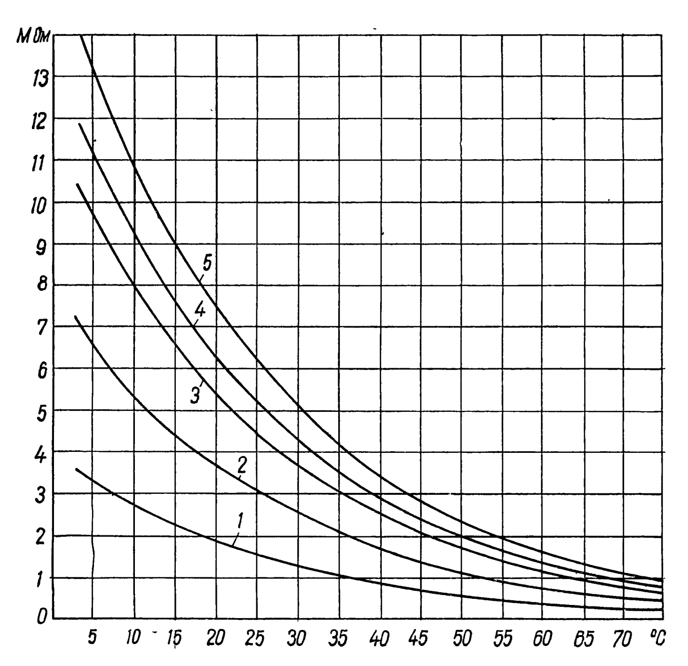


Рис. VI.5. Зависимость наименьшего допустимого значения сопротивления изоляции обмоток МПТ от температуры для машин на напряжения:
1 — 220 В; *2* — 460 В; *3* — 650 В; *4* — 750 В; *5* — 900 В.

им выводам машины (напряжение U) и между каждым из выводов и корпусом (U_1 и U_2). Тогда сопротивление изоляции

$$R_{из} = R_в \left(\frac{U}{U_1 + U_2} - 1 \right) 10^{-6} \text{ [МОм]}.$$

Испытание электрической прочности изоляции

Методика испытания рассмотрена в гл. III и V. В табл. VI.5 приведены напряжения промышленной частоты для приемосдаточных испытаний изоляции МПТ. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

Таблица VI. 5. **Испытательные напряжения промышленной частоты для МПТ**

Испытываемый объект	Характеристика МПТ	Испытательное напряжение, В
Обмотки МПТ (кроме возбудителей синхронных машин)	МПТ на номинальное напряжение до 100 В	$1{,}6\,U_{ном} + 800$
	МПТ выше 100 В мощностью до 1000 кВт	$1{,}6\,U_{ном} + 800$, но не менее 1200 В
	МПТ выше 100 В и выше 1000 кВт	$1{,}6\,U_{ном} + 800$
Обмотки возбудителей	Возбудители синхронных генераторов	$8\,U_{ном}$, но не менее 1200 В и не более 2800 В
	Возбудители синхронных двигателей и компенсаторов	$8\,U_{ном}$, но не менее 1200 В
Бандажи якоря		1000 В
Реостаты и пускорегулировочные сопротивления (испытание может производиться совместно с цепями возбуждения)		1000 В

При приемосдаточных испытаниях генераторов постоянного тока проверку межвитковой изоляции осуществляют путем повышения напряжения до 130 % номинального значения в процессе снятия х.х.х.

У возбудителей синхронных машин межвитковую изоляцию испытывают при наибольшем (потолочном) или установленном заводом-изготовителем значении напряжения. При испытании межвитковой изоляции возбудителей с числом полюсов более четырех среднее напряжение между соседними коллекторными пластинами должно быть не выше 24 В.

Продолжительность испытания межвитковой изоляции 5 мин.

Определение возможности включения МПТ без сушки

Условия включения МПТ без сушки, методика измерения и критерии оценки состояния изоляции приведены в «Инструкции по определению возможности включения вращающихся электрических машин постоянного тока без сушки» (СН 282—64). Инструкция распространяется на все вводимые в эксплуатацию вращающиеся МПТ общепромышленного назначения отечественного производства напряжением до 1000 В с изоляцией классов *А* и *В* (см. табл. V.3). В зависимости от напряжения и класса изоляции обмоток МПТ можно включать без сушки при следующих условиях: 1) сопротивление изоляции обмоток R_{60}, измеренное при температуре не ниже + 10 °С, машин напряжением до 500 В с изоляцией обмоток класса *А* должно быть не менее значений, указанных в табл. VI.4; 2) для машин с изоляцией класса *В* напряжением выше 500 В до 1000 В сопротивление R_{60} должно иметь те же значения, что и для машин с изоляцией класса *А*; кроме того,

при температуре от $+10$ до $+30$ °С коэффициент абсорбции R_{60}/R_{15} должен быть не менее 1,2.

При промежуточных значениях температуры минимальное допустимое сопротивление изоляции обмоток можно определить по кривым рис. VI.5. Данные табл. VI.4 и рис. VI.5 относятся к машинам с изоляцией обмоток класса B, но пригодны и для машин с изоляцией обмоток класса A.

Если характеристики изоляции удовлетворяют приведенным выше условиям, изоляция обмоток должна быть подвергнута испытанию повышенным напряжением переменного тока (в соответствии с требованиями предыдущего параграфа). Если сопротивление изоляции R_{60} и коэффициент абсорбции R_{60}/R_{15} ниже требуемых, то изоляцию обмоток следует подвергнуть контрольному прогреву, а в случае необходимости — сушке. Сопротивление изоляции обмоток машин нужно измерять мегомметром на 1000 В при температуре не ниже $+10°$ С, соединив все обмотки, входящие в силовую цепь (якорную, компенсационную, сериесную), по рабочей схеме.

Перед измерениями обмотки машин очищают от грязи и пыли, продувая сухим и чистым воздухом под избыточным давлением не выше 0,2 МПа (2 кгс/см^2). В доступных местах протирают чистой и сухой ветошью.

Если на обмотки машины в течение длительного времени попадала вода, то перед испытаниями, связанными с приложением повышенного напряжения выпрямленного или переменного тока, необходимо провести контрольный прогрев обмоток машины.

Особенности измерения сопротивления обмоток МПТ постоянному току

Методика измерений рассмотрена в гл. III и V. Допускаются отклонения сопротивления обмоток возбуждения от заводских данных или ранее измеренных значений не более чем на ± 2 %.

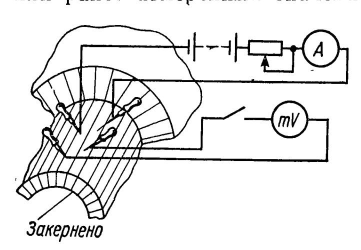


Рис. VI.6. Схема измерения сопротивления якорной обмотки между соседними коллекторными пластинами.

Для предотвращения размагничивания полюсов при измерении сопротивления параллельных обмоток МПТ с самовозбуждением испытания следует проводить так, чтобы направление тока в обмотке совпадало с заданным.

Измерение сопротивления обмотки якоря — операция сложная и трудоемкая. Практически невозможно с должной точностью измерить сопротивление обмотки или отдельных ее ветвей у собранного якоря: мешает большое количество параллельных цепей, многократная замкнутость обмотки, уравнительные соединения у некоторых машин. В зависимости от поставленной задачи применяют разные методы измерения.

Чтобы проверить качество паек и убедиться, что нет витковых замыканий и обрывов, обычно измеряют сопротивления между соседними коллекторными пластинами. Такое измерение выполняют с помощью вольтметра (милливольтметра) и амперметра при питании схемы от аккумуляторной батареи (рис. VI.6). В этом случае очень удобно использовать два сдвоенных щупа: к одному из стержней присоединяют вольтметр, а к дру-

гому—токовую цепь. Соединяемые с токовой цепью стержни—пружинящие и более длинные, так что вначале при соединении щупов с коллекторными пластинами замыкают цепь тока, а затем, после нажатия на щупы, присоединяют вольтметр (рис. VI.7). Это предохраняет последний от повреждения. При проведении измерений щетки подняты и не касаются коллектора; пластины последнего следует пронумеровать мелом, якорь периодически поворачивать для удобства измерений. Сила тока должна быть 10—20 А, но не больше 20 % номинальной.

Качество паек можно проверить микроомметром или переносным двойным мостом.

Сопротивления между ламелями не должны различаться более чем на 10 %, если это отклонение не обусловлено наличием уравнительных соединений.

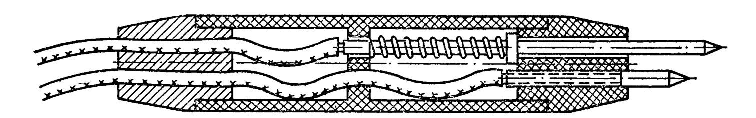


Рис. VI.7. Разрез сдвоенного щупа для измерения сопротивления якорных обмоток.

Если сопротивление обмотки якоря определяют для расчета потерь мощности или падения напряжения в нем, а также для сравнения с расчетными значениями сопротивления, то наиболее сложным оказывается выбор коллекторных пластин, между которыми должно проводиться измерение. Согласно ГОСТ 10159—79, для якорей с простыми волновыми обмотками, имеющими полное число уравнительных соединений, сопротивление измеряют между коллекторными пластинами, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном числу пластин: $K/2P$ (K — полное число коллекторных пластин; $2P$ — число главных полюсов), причем отношение $K/2P$ округляют до целого числа. Для более сложных обмоток пластины выбирают на основании детального изучения схемы и электрических характеристик обмотки. При измерении по этому методу щетки можно не поднимать (исключение составляют металлографитные щетки). Если число полюсов в машине меньше восьми, щетки любого типа поднимают.

Перед испытанием следует убедиться в том, что щетки притерты и примерно одинаково прижаты к коллектору. Измерение в данном случае проводят с помощью вольтметра и амперметра. Ток (10—20 % номинального) подводят либо через щетки, либо (для небольших машин) металлическими щупами, падение напряжения измеряют вольтметром, присоединенным щупами к коллекторным пластинам под щетками. Так как щетки перекрывают обычно несколько коллекторных пластин, напряжение следует измерять между несколькими парами пластин, чтобы шаг между пластинами был равен $K/2P$. Сопротивление определяют как среднее из полученных значений для всех пар щеток.

Сопротивление якоря можно рассчитать по формуле

$$R_я = 0,5\,(1 - \eta)\,\frac{U_{ном}}{I_{ном}},$$

где η — КПД; $I_{ном}$ и $U_{ном}$ — соответственно номинальные ток и напряжение.

Для определения температуры якорной обмотки в процессе испытаний на нагрев коллекторные пластины, между которыми измеряют сопротивление, как правило, можно выбирать произвольно. Существенную роль играют пределы измерений применяемых приборов; пластины выбирают так, чтобы показания амперметра и вольтметра при всех значениях температуры обмотки находились во второй половине шкалы. Измерение проводится с помощью щупов. Якорь при всех измерениях должен находиться в одном и том же положении относительно щеток, которые остаются на коллекторе или поднимаются.

Сопротивление регулировочных и пусковых реостатов и гасителей поля измеряют при приемосдаточных испытаниях на каждом ответвлении. Следует добиваться, чтобы значение сопротивления не отличалось от расчетных или паспортных данных более чем на 10 %. Для ориентировочных расчетов правильности выбора регулировочных реостатов шунтовых генераторов можно принять, что их полное сопротивление должно быть больше сопротивления шунтовой обмотки примерно в 3—4, а для двигателей — в 2,5 раза. Отношение сопротивления гашения поля возбудителей к сопротивлению обмотки возбуждения рекомендуется равным 10; для остальных МПТ — 7, если сопротивление включено постоянно, и 1, если оно включается автоматически.

Стационарные методы проверки схем внутренних соединений и полярности обмоток

Проверка согласованности включения обмоток главных полюсов

Способ импульсов. К началу одной из обмоток (например, шунтовой ШО) через прерыватель подключают положительный полюс низковольтного источника ЭДС, а к началу другой (сериесной СО) — положительный вывод милливольтметра; отрицательные полюсы подключают к концам обмоток. Если при замыкании цепи источника ЭДС стрелка милливольтметра отклонится вправо, то начало и конец обмоток обозначены правильно (рис. VI.8). Аналогично можно определить начало и конец обмоток каждого полюса в отдельности.

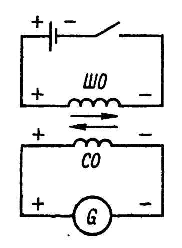


Рис. VI.8. Схема проверки правильности включения обмоток главных полюсов (метод импульсов).

Способ магнитной стрелки. К началу обмоток через выключатели и соответствующие сопротивления подсоединяют один и тот же полюс источника напряжения, а к концу — другой. Замыкая цепь одной обмотки, подносят к полюсному наконечнику или к крепящему полюс болту магнитную стрелку и определяют его полярность; затем эту обмотку отключают и включают вторую. Если полярность не изменилась, начало и конец обмоток обозначены правильно.

Способ проворачивания якоря. Собрав схему, как описано выше, к якорю подключают низкопредельный магнитоэлектрический вольтметр и вручную плавно поворачивают якорь. Если выводы обозначены правильно, направление отклонения стрелки вольтметра при питании каждой обмотки не изменяется.

Проверка правильности включения обмотки добавочных полюсов

Способ магнитной стрелки. К обмоткам главных и добавочных полюсов (ДП) подводят питание согласно схеме их включения и с помощью магнитной стрелки определяют полярность полюсов.

На рис. VI.9 показано правильное чередование главных и добавочных полюсов при разных направлениях вращения. Магнитную стрелку можно подносить к болтам, которыми крепятся добавочные полюсы, при этом полярность полюса будет обратной.

Способ переменного тока. В цепь, состоящую из якоря и ДП, через понизительный трансформатор (или АТ) подают ток, равный 10—15 % номинального (рис. VI.10,*а*); при этом щетки ставят на нейтраль.

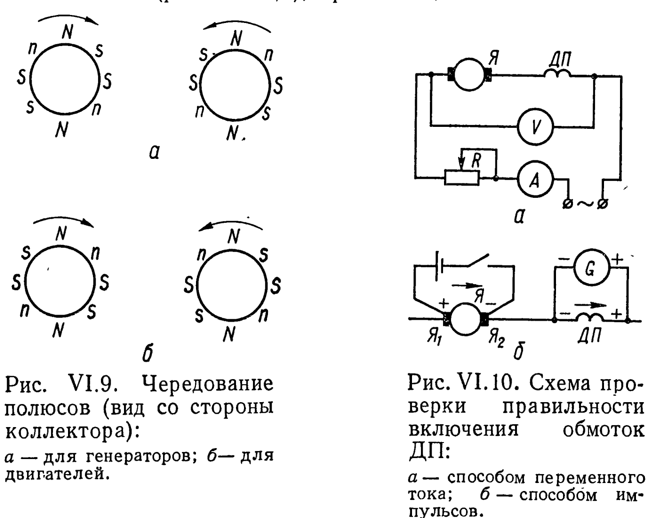


Рис. VI.9. Чередование полюсов (вид со стороны коллектора):

а — для генераторов; *б* — для двигателей.

Рис. VI.10. Схема проверки правильности включения обмоток ДП:

а — способом переменного тока; *б* — способом импульсов.

Затем, изменив полярность обмотки якоря (можно сдвинуть щетки на 180°), повторяют измерение. Правильному включению обмоток соответствует меньшее сопротивление цепи, определенное как $Z = U/I$.

Способ импульсов. К щеткам, установленным на нейтрали, через прерыватель подключают источник ЭДС (2—4 В) так, чтобы «—» был в точке соединения якоря с обмоткой добавочных полюсов. В ту же точку присоединяют «—» милливольтметра, а «+» подключают к противоположному выводу обмотки добавочных полюсов (рис. VI.10,*б*). Если обмотки ДП включены правильно, то при замыкании цепи якоря стрелка милливольтметра отклонится вправо.

Для обмоток ДП, включенных по обе стороны якоря, опыт проводится для каждой части полюсов отдельно.

Проверка правильности включения компенсационной обмотки (КО)

Поток КО должен быть направлен согласно с потоком ДП. Проверку согласованности включения раздельных обмоток ДП и КО можно провести методом переменного тока или методом импульсов (аналогично проверке согласованности включения обмоток главных полюсов).

В машинах, у которых ДП чередуются с участками КО, согласованность включения этих обмоток можно установить, задаваясь условным направлением токов в обмотках и пользуясь «правилом буравчика».

Проверка полярности якоря

Способ импульсов. К обмотке возбуждения через прерыватель подключают источник ЭДС так, чтобы его положительный полюс был у начала обмотки. Щетки сдвигают с нейтрали в сторону вращения на небольшой угол (10—15°) и к ним присоединяют милливольтметр. Если при замыкании прерывателя стрелка милливольтметра отклоняется вправо, то его положительный полюс соединен с положительной щеткой, если влево — с отрицательной.

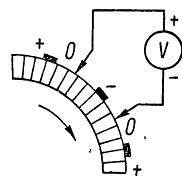


Рис. VI.11. Схема проверки полярности якоря.

Вместо перемещения щеток можно воспользоваться соединенными с гальванометром щупами, которые прижимают к коллекторным пластинам, отстоящим на тот же угол (10—15°) от любой пары щеток в направлении вращения (рис. VI.11).

Способ проворачивания якоря. К обмотке возбуждения подключают источник постоянного тока, способный создать в полюсах поток, превышающий остаточный. В этом можно убедиться, изменяя направление тока в обмотке и отмечая перемену полярности полюсов с помощью магнитной стрелки. К щеткам присоединяют вольтметр постоянного тока и вручную толчком проворачивают якорь в предполагаемом направлении вращения. По отклонению стрелки определяют полярность щеток и делают выводы о правильности внутренних и внешних соединений машины.

Эта проверка позволяет определить будущее направление вращения двигателей.

Оценка степени искрения, проверка коммутации и определение области безыскровой работы

Степень искрения под сбегающим краем щетки оценивается, согласно ГОСТ 183—74, по шкале, приведенной в табл. VI.6.

Для исключения субъективных оценок о степени искрения следует судить по состоянию коллектора и щеток. При номинальном режиме работы степень искрения всех МПТ должна быть не выше $1\frac{1}{2}$.

Состояние коллектора и щеток проверяют: а) у машин, предназначенных для продолжительного номинального режима работы, по истечении времени, необходимого для достижения практически установившейся температуры машины, но не реже, чем через: 2 ч после начала работы машин мощностью до 100 кВт включительно; 4 ч — свыше 100 до 300 кВт, 8 ч — свыше 300 до 1000 кВт, 16 ч — свыше 1000 кВт; б) у машин, предназначенных для кратковременного номинального режима работы, после нескольких циклов работы (начиная с нагретого состояния) общей продолжительностью не менее времени, указанного для продолжительного номинального режима работы; в) у машин, предназначенных для повторно-кратковременных режимов работы, после такой продолжительности работы

Таблица VI.6. **Степень искрения ЭМ (по ГОСТ 183 — 74)**

Степень искрения	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1\frac{1}{4}$	Слабое искрение под большей частью края щетки	
$1\frac{1}{2}$	Слабое искрение под большей частью края щетки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе и следов нагара на щетках, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином
3	Значительное искрение под всем краем щетки с появлением крупных и вылетающих искр Допускается только для моментов прямого включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки остаются в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и частичное разрушение щеток

в данном режиме, чтобы сумма рабочих циклов была не менее времени, указанного для продолжительного номинального режима работы.

Коммутацию при перегрузке машин можно проверить в режиме короткого замыкания при независимом возбуждении. В этом случае нужно принять меры, чтобы не произошло самовозбуждения из-за последовательной обмотки возбуждения, ДП и пр. Наиболее эффективное средство предотвращения самовозбуждения, представляющего значительную опасность для МПТ,— встречное параллельной включение последовательной обмотки возбуждения; если же обмотки нет,— намотка временной последовательной обмотки на главных полюсах.

При кратковременных перегрузках трудно обнаружить изменения на коллекторе и щетках, поэтому в ущерб объективности приходится оценивать искрение, сравнивая его до перегрузки и после нее. Если при перегрузке искрение не изменилось или быстро восстановилось, то степень искрения не превысила 2; если оно долго не восстанавливалось,— степень искрения приближалась к 3.

Искрение вызывается различными причинами. Большинство из них можно выявить при внешнем осмотре, проверке механической

части, измерении сопротивлений якоря и проверке правильности схемы МПТ. Причиной чрезмерного искрения может быть неправильная настройка ДП (несоответствие витков, неправильно выбранный зазор), которую при указанных выше проверках нельзя обнаружить. В связи с этим область безыскровой работы для МПТ, согласно ГОСТ 10159—79, следует определять методом изменения возбуждения ДП. Этот метод заключается в том, что при разных токах якоря в режиме нагрузки

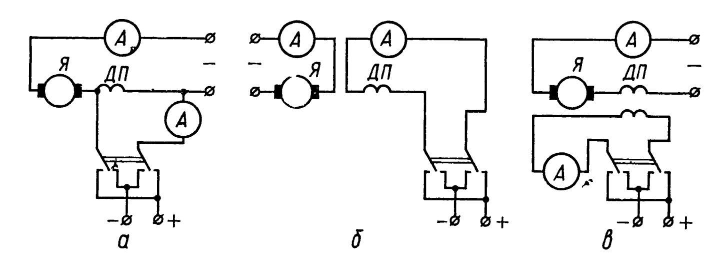


Рис. VI.12. Схема создания дополнительного магнитного потока ДП.

или короткого замыкания (0—100 % и более), постоянной частоте вращения и установившейся температуре определяют наибольшее и наименьшее отклонения тока ΔI в обмотке добавочных полюсов от тока якоря, при которых коммутация остается темной или степень искрения не превышает заданной.

Возбуждение ДП можно изменить: 1) подключением к зажимам обмотки ДП, включенной в общую цепь якоря МПТ, постороннего источника постоянного тока (рис. VI.12,*а*); 2) посторонним источником при отключении обмотки ДП от цепи якоря (рис. VI.12,*б*); 3) наложением на ДП дополнительной обмотки, питаемой от постороннего источника (рис. VI.12,*в*); 4) шунтированием сопротивлением обмотки ДП.

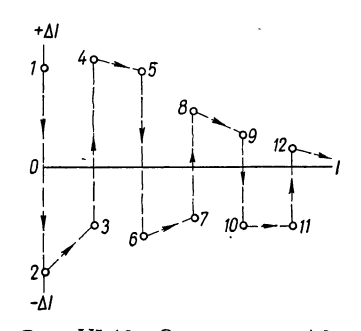


Рис. VI.13. Зависимость ΔI от тока якоря при опыте дополнительного питания ДП.

В первом случае ΔI может быть определено при непосредственном измерении в цепи постороннего источника, во втором — как разность между током якоря и током обмотки добавочных полюсов ($\Delta I = I_я - I_{ДП}$), в третьем — как ток постороннего источника $I_{п.и}$, приведенный к виткам обмотки ДП:

$$\Delta I = I_{п.и} \frac{w_{п.и}}{w_{ДП}},$$

где $w_{ДП}$ и $w_{п.и}$ — число витков соответственно основной и дополнительной обмоток ДП.

Практически кривые верхних и нижних границ безыскровой области определяют при плавном изменении ΔI до появления первой искры под любой щеткой. Зависимости отклонения ΔI от тока якоря показаны на рис. VI.13 и VI.14.

Если намагничивающая сила ДП слишком велика, их следует отдалить от якоря или заменить стальные прокладки у основания латунными. Если намагничивающая сила ДП слишком мала, их нужно приблизить. Можно рекомендовать также метод настройки коммутации, основанный на снятии потенциальной диаграммы под щеткой. Вольтметр с низким пределом измерения подключают при работе машины с нагрузкой одним зажимом к поводку щетки, а другим поочередно к сбегающему и набегающему краям контактной части щетки (рис. VI.15).

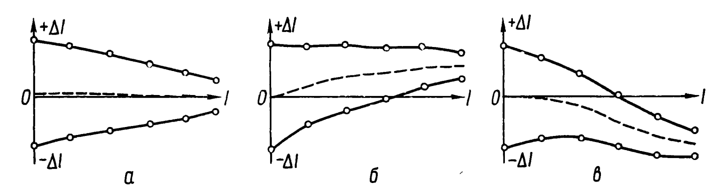


Рис. VI.14. Области безыскровой коммутации при нормальной (*а*), малой (*б*) и слишком большой (*в*) намагничивающей силе ДП.

Если падение напряжения ΔU под обоими краями одинаково, коммутация прямолинейна (кривая *1*) и чаще всего ее не нужно настраивать. Если падение на набегающем крае больше, чем на сбегающем (кривая *3*), коммутация ускоренная и требуется ослабить действие ДП; в противном случае (кривая *2*) коммутация замедленная и следует усилить действие ДП.

В некоторых случаях для компенсации отставания изменения поля ДП от поля якоря при резких изменениях режима работы применяется индуктивный шунт, который подключается параллельно обмотке ДП и улучшает коммутацию МПТ.

Выбор положения щеток на коллекторе

В МПТ с ДП щетки обычно устанавливают в нейтральном положении, которое может быть определено одним из следующих способов.

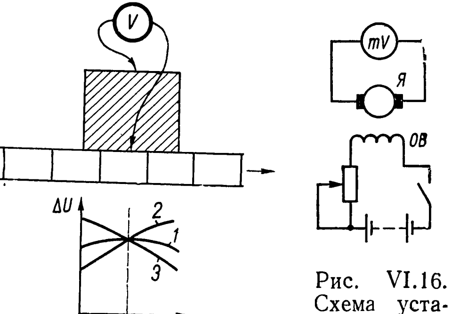


Рис. VI.15. Потенциальная диаграмма коммутации МПТ и схема ее получения.

Рис. VI.16. Схема установки щеток в нейтральное положение способом импульсов.

Способ импульсов (рис. VI.16). К обмотке возбуждения через прерыватель подключают источник ЭДС напряжением 2—4 В (иногда больше), к щеткам — милливольтметр. Траверсу щеткодержателей немного освобождают и, перемещая щетки, находят положение, при котором замыкание цепи возбуждения не вызывает отклонения стрелки милливольтметра. Это положение и соответствует нейтральному.

Если (вследствие небольшой несимметрии расположения щеток и коллекторных пластин) при разных положениях якоря нейтраль перемещается, следует выбрать положение щеток, при котором макси-

мальные отрицательные и положительные отклонения стрелки прибора равны при разных положениях якоря. После закрепления траверсы следует повторить проверку.

Способ максимального напряжения якоря. МПТ пускают в ход в режиме генератора; к щеткам присоединяют вольтметр, рассчитанный на номинальное напряжение МПТ. Перемещая траверсу со щетками, находят положение, соответствующее наибольшему напряжению. Этот способ менее точен и менее удобен, чем способ импульсов.

Способ равных оборотов. МПТ пускают в ход в режиме двигателя в произвольном направлении и измеряют скорость вращения якоря. Затем, изменяя полярность обмотки возбуждения и, следовательно, направление вращения, повторно измеряют скорость. Если при первом и втором измерениях скорости оказываются разными, то, перемещая траверсу, добиваются их равенства.

Последовательную обмотку возбуждения (если она имеется) отключают. Щетки реверсивных машин следует устанавливать в нейтральное положение. У других машин в некоторых случаях щетки должны быть немного сдвинуты с нейтрали: у генераторов, питающих индуктивную нагрузку, как правило, против хода для предотвращения частых размагничиваний и перемагничиваний полюсов при переходных процессах.

Смещение щеток с нейтрали — наиболее простой способ изменения внешней характеристики МПТ. Это может быть использовано для равномерного распределения нагрузки между параллельно работающими машинами. Смещением щеток можно, кроме того, изменять пределы регулирования напряжения и скорости МПТ. Однако следует помнить, что при смещении щеток с нейтрали возможно ухудшение коммутации.

Тепловое испытание МПТ

Тепловое испытание МПТ является типовым на заводе-изготовителе, и при необходимости его можно проводить на месте установки либо в полном объеме, либо для отдельных частей.

Температуру неподвижных обмоток (возбуждения, добавочных полюсов, компенсационной и др.) определяют преимущественно по сопротивлению; вольтметр рекомендуется присоединять к последовательным обмоткам с помощью горячей пайки. У якорной обмотки температуру определяют по сопротивлению после остановки машины; сопротивление измеряют всегда между одними и теми же коллекторными пластинами при одном и том же положении якоря относительно щеткодержателей.

Если число полюсов больше восьми, щетки можно не поднимать. В отдельных случаях температуру якорной обмотки измеряют термометром, баллончик которого прижимают к лобовой части обмотки и прикрывают теплоизоляционным материалом. Точно так же измеряют температуру коллектора, зубцов якоря, башмаков полюсов, корпуса машины и бандажей. Если необходимо измерить температуру щеток, в них делают углубление ближе к контактной части и закладывают термопару, уплотненную теплоизоляционным материалом (рис. VI.17). Следует иметь в виду, что термопары и измерительное приспособление в этом случае оказываются под потенциалами щеток.

При испытании МПТ на нагрев на месте установки проще всего загрузить ее естественной нагрузкой. Могут быть применены также известные методы нагрузки (типа взаимной), а также метод возвратной нагрузки с участием приводных АД. По этому методу две МПТ (одна из которых испытываемая, а вторая — нагрузочная такой же или боль-

шей мощности) приводятся в движение своими АД, питаемыми от общей сети. МПТ включают параллельно друг другу, регулируя возбуждение (повышая на испытываемой и уменьшая на нагрузочной), устанавливают требуемый ток якоря при номинальном напряжении. Из сети потребляется мощность, необходимая только на покрытие потерь во всех машинах схемы; приводной двигатель нагрузочной МПТ работает в режиме асинхронного генератора.

Испытание МПТ на месте установки на нагрев желательно проводить при нагрузках 100, 90 и 75 % номинальной с построением кривых $\nu = f(I^2)$. В отдельных случаях, особенно для машин мощностью больше 100 кВт, допускается испытание на нагрев косвенным методом в режимах холостого хода и короткого замыкания. Превышение температуры для всех обмоток определяется как сумма превышений в каждом режиме: $\nu = \nu_{х.х} + \nu_{к.з}$.

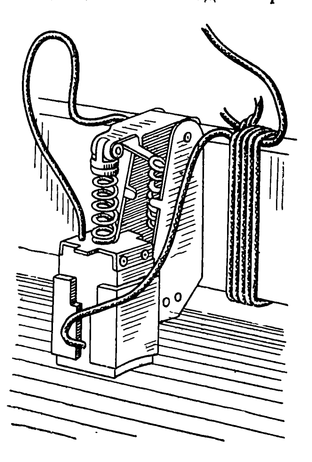


Рис. VI.17. Установка термопары в щетке.

Особенности определения потерь и КПД машин постоянного тока

Потери в МПТ и их КПД могут быть определены методами, рассмотренными в гл. V.

В МПТ различают следующие виды потерь: 1) в стали; 2) механические; 3) основные в цепях рабочих обмоток; 4) в переходных контактах щеток; 5) на возбуждение; 6) добавочные. Согласно ГОСТ 11828—75, в объем типовых испытаний МПТ входит определение потерь только в стали и механических. Потери на возбуждение, основные потери в рабочих обмотках и потери в переходных контактах щеток можно определить расчетным путем по данным других испытаний, а добавочные потери принимают равными: для некомпенсированных МПТ 1 % и компенсированных МПТ — 0,5 % полезной мощности генераторов и подводимой для двигателей. Добавочные потери при нагрузках, отличных от номинальной, пересчитывают пропорционально квадрату тока.

Потери в переходных контактах щеток принимают не зависящими от тока:

для угольных и графитовых щеток

$$\Delta P_щ = \frac{100}{U_{ном}} \; [\%];$$

для металлоугольных и металлографитных

$$\Delta P_щ = \frac{30}{U_{ном}} \; [\%],$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение МПТ, В.

Основные потери в цепи якорной обмотки и обмотках, последовательно соединенных с якорем, определяют из выражения

$$\Delta P_0 = I^2 R_t,$$

где R_t — сопротивление обмоток, приведенное к температуре 75 °С.

Потери в параллельной обмотке возбуждения обычно учитывают по току и напряжению возбуждения.

Чтобы определить потери в стали и механические потери, пускают в ход МПТ вхолостую в режиме двигателя, доводят частоту вращения до номинальной и поддерживают на якоре напряжение больше (для генераторов) или меньше (для двигателей) номинального на значение падения напряжения под щетками. Потери определяют по току и напряжению на МПТ. Определенные опытным путем потери в стали и механические могут быть в случае необходимости разделены. Если машина имеет несколько номинальных частот вращения, потери в стали и механические определяют только для наибольшей из них, а также для той частоты, которая является основной.

Определение характеристик машин постоянного тока в режиме генератора

Характеристика холостого хода. Методика получения х.х.х. приведена в гл. V. Х.х.х. МПТ снимают при всех видах испытаний: заводских, послеремонтных, приемосдаточных и профилактических (только для генераторов). Отклонения характеристики от ранее снятой не нормируются; практически они должны находиться в пределах точности измерительных приборов. На результаты снятия х.х.х. существенное влияние оказывают частота вращения, положение щеток относительно нейтрали (характеристику следует снимать при одном и том же их положении) и способ возбуждения.

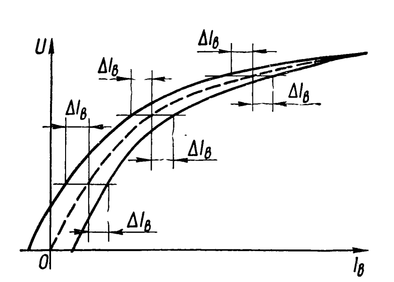


Рис. VI.18. Характеристика холостого хода МПТ при независимом возбуждении.

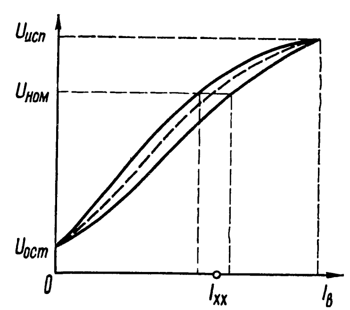


Рис. VI.19. Характеристика холостого хода МПТ с самовозбуждением.

При сравнении характеристик, снятых в разное время, обязательно учитывать изменения условий снятия. Согласно ГОСТ 10159—79, х.х.х. можно определить как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении. В последнем случае последовательная обмотка не должна нагружаться током возбуждения. У сериесных машин х.х.х. определяют только при независимом возбуждении.

Характеристика холостого хода МПТ вследствие гистерезиса имеет две ветви — восходящую и нисходящую, снимаемые при плавном увеличении и уменьшении тока возбуждения $I_в$ (рис. VI.18). Собственно х.х.х. (или средняя х.х.х.) — это кривая, абсциссы которой равны средним арифметическим абсцисс восходящей и нисходящей ветвей (пунктир на рис. VI.18). При независимом возбуждении эта кривая проходит через начало координат, при самовозбуждении она отсе-

кает на оси ординат отрезок, соответствующий остаточному напряжению $U_{ост}$ (рис. VI.19). В своей верхней части кривые заканчиваются в точке, соответствующей напряжению, которым испытывается междувитковая изоляция $U_{исп}$.

Согласно ГОСТ 10159—79, для МПТ можно снимать только нисходящую ветвь х.х.х. до $I_в = 0$. Среднюю характеристику получают, перемещая абсциссы всех точек нисходящей ветви вправо на величину $\Delta I_в$ (рис. VI.20, *а*). Она равна обратному току возбуждения,

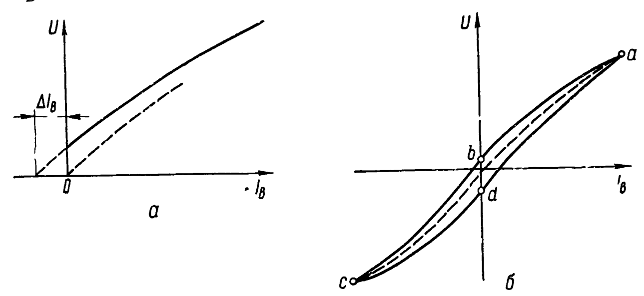


Рис. VI.20. Характеристики холостого хода МПТ:
а — нисходящая ветвь; *б* — полная кривая.

необходимому для полного размагничивания машины. Согласно ГОСТ 10159—79, при определении х.х.х. можно снимать полную замкнутую кривую, представляющую собой гистерезисный цикл (рис. VI.20,*б*). В этом цикле точка *а* является начальной и конечной. Х.х.х. снимается при независимом возбуждении. Полярность возбуждения изменяется в точках *b* и *d*. Схемы включения обмотки возбуждения *ОВ* и якоря *Я* при снятии х.х.х. приведены на рис. VI.21.

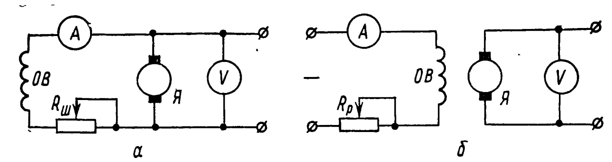


Рис. VI.21. Схема соединений при снятии х.х.х. МПТ с самовозбуждением (*а*) и с независимым возбуждением (*б*).

При снятии х.х.х. во время подъема напряжения необходимо следить за коммутацией щеток. При искрении необходимо снизить возбуждение. Только после устранения причины искрения можно продолжать испытания.

Генераторы постоянного тока в ряде случаев теряют способность к самовозбуждению. Это может быть вызвано неправильным присоединением параллельной обмотки, пропусканием тока обратной полярности по параллельной обмотке при испытаниях, размагничиванием и перемагничиванием полюсов при переходных процессах генераторов, питающих индуктивную нагрузку, несоответствием полярности остаточного магнетизма направлению вращения машины и др.

Для восстановления остаточного магнетизма требуемой полярности следует на вращающейся машине, при отсоединенной обмотке

возбуждения, проверить значение и полярность остаточного напряжения якоря. Если при подсоединении обмотки возбуждения напряжение снижается, необходимо переключить выводы обмотки возбуждения; если остаточное напряжение повышается незначительно, следует ненадолго зашунтировать шунтовой реостат и добавочные сопротивления в цепи возбуждения машины. При изменении полярности или полном исчезновении остаточного магнетизма намагничивание машины может быть выполнено пропусканием через обмотку возбуждения тока требуемой полярности, равного $0{,}2 - 0{,}3 I_{ном}$, от постороннего источника постоянного тока (аккумулятора, выпрямителя)

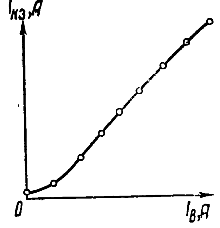


Рис. VI.22. Характеристика короткого замыкания МПТ.

Характеристика короткого замыкания (х. к.з.)— зависимость тока якоря в режиме короткого замыкания от тока возбуждения $I_{я.к.з} = f(I_в)$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ — может быть использована для построения с помощью х.х.х. всех рабочих характеристик МПТ. Х. к. з. прямолинейна, за исключением начальной части, где существенное значение имеет переходный контакт щеток (рис. VI.22). Х. к. з. снимают при независимом возбуждении (рис. VI.23). При снятии х. к. з. необходимо принять меры против самовозбуждения машины за счет намагничивающих составляющих потока последовательной обмотки, реакции якоря и добавочных полюсов, ввести максимальную защиту и предусмотреть аварийное размыкание якорной цепи на случай самовозбуждения. Прохождение токов, значительно превышающих номинальный, при настройке аппаратов защиты допускается лишь в течение 2 — 5 с.

Внешняя характеристика — это зависимость напряжения на зажимах генератора постоянного тока от тока нагрузки $U = f(I_{нар})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе независимого возбуждения или неизменном сопротивлении шунтового реостата при самовозбуждении (температура обмоток генератора постоянного тока должна быть близка к расчетной). Схема определения внешней характеристики приведена на рис. VI.24.

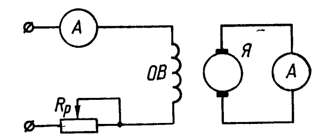


Рис. VI.23. Схема соединений при снятии х. к. з. МПТ.

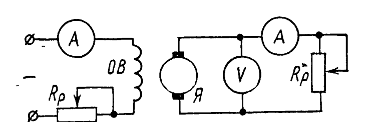


Рис. VI.24. Схема соединений для снятия внешней, регулировочной и нагрузочной характеристик МПТ.

По внешней характеристике (рис. VI.25,*а*) определяют изменение напряжения ΔU для любой точки характеристики при изменении нагрузки от 150 % номинального значения до нуля (ГОСТ 10159—79):

$$\Delta U = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100\,[\%],$$

где U — напряжение в данной точке характеристики.

При согласном включении последовательной обмотки возбуждения внешняя характеристика генератора постоянного тока может оказаться выше, а при встречном — ниже, чем для случая, когда последовательной обмотки возбуждения нет.

Регулировочная характеристика — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки МПТ $I_в = f(I_{наг})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и $U = \text{const} = U_{ном}$ (температура МПТ должна быть близка к расчетной). При определении регулировочной характеристики обычно снимают одну ветвь при снижении тока нагрузки. Характеристику снимают при изменении тока нагрузки от 150 % номинального значения до нуля. По регулировочной характеристике определяют значение тока возбуждения, используемое при расчете потерь и КПД. Характеристику можно получить как при независимом возбуждении, так и при самовозбуждении (см. рис. VI.24).

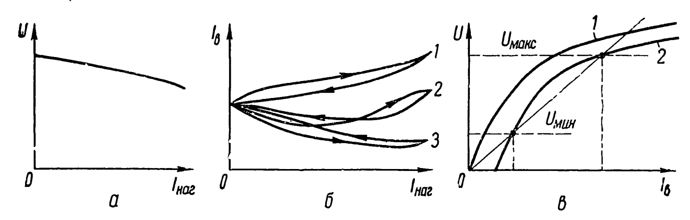


Рис. VI.25. Характеристики МПТ:
а — внешняя; *б* — регулировочная; *в* — нагрузочная.

Регулировочные характеристики при согласном (кривые *1*) и встречном (кривые *3*) включении последовательной обмотки и без нее (кривые *2*) приведены на рис. VI.25,*б*.

Нагрузочная характеристика — зависимость напряжения на зажимах МПТ от тока возбуждения $U = f(I_в)$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе якоря. Эта характеристика используется для определения плавности регулирования напряжения при нагрузке и для выбора ответвлений реостата регулирования возбуждения. Схема получения характеристики и сама характеристика приведены на рис. VI.24 и VI.25, *в*. На рис. VI.25, *в* кроме нагрузочной характеристики *2* для сравнения приведена х. х. х. *1*.

При приемосдаточных испытаниях возбудителей синхронных машин снимается нагрузочная характеристика при неизменном сопротивлении нагрузки (на ротор генератора).

Опытное определение характеристик машин постоянного тока в режиме двигателя

При приемосдаточных испытаниях определяют на холостом ходу и под нагрузкой пределы регулирования частоты вращения двигателей и соответствие их проектным данным. В отдельных случаях снимают их характеристики.

Рабочая (скоростная) характеристика — зависимость частоты вращения от тока нагрузки $n = f(I_{наг})$ при $U = \text{const} = U_{ном}$, неизменном сопротивлении цепи возбуждения и температуре обмоток, близкой к расчетной. У шунтовых МПТ характеристику снимают при изменении тока от 150 % номинального значения до нуля, у компаундных и сериес-

ных машин минимальную нагрузку выбирают так, чтобы частота вращения не превышала допустимую (ГОСТ 10159—79).

По рабочей характеристике определяют изменение частоты вращения аналогично тому, как определяют изменение напряжения по внешней характеристике генераторов постоянного тока.

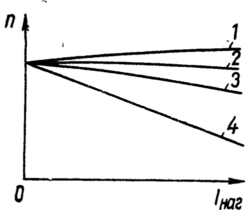


Рис. VI.26. Скоростные характеристики двигателя с параллельным возбуждением:

1 — для двигателя с перекомпенсацией реакции якоря; *2* — для двигателя с нормальной компенсацией; *3* и *4* — для двигателя со слабой компенсацией реакции якоря.

Скоростные характеристики двигателей постоянного тока при различной степени влияния реакции якоря приведены на рис. VI.26, схема соединений — на рис. VI.27.

Регулировочной характеристикой называют зависимость тока возбуждения от тока нагрузки $I_в = f(I_{наг})$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и $U = \text{const} = U_{ном}$. Часто при наладке электропривода снимают регулировочную характеристику $n = f(I_в)$ при $U = \text{const} = U_{ном}$ и постоянном моменте сопротивления на валу (рис. VI.28). При снятии этой характеристики определяют пределы регулирования частоты вращения. В некоторых случаях определяется кривая зависимости частоты вращения от других величин (напряжения на зажимах двигателя, нагрузки на валу и т. п.), поскольку она необходима при наладке электропривода.

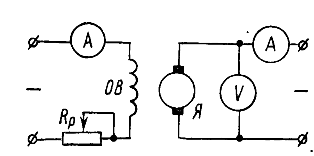


Рис. VI.27. Схема соединений для снятия скоростной и регулировочной характеристик двигателя постоянного тока.

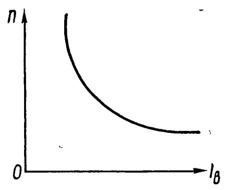


Рис. VI.28. Регулировочная характеристика двигателя постоянного тока $n = f(I_в)$.

Электромашинные усилители (ЭМУ)

Электромашинные усилители (ЭМУ) — по существу машины постоянного тока. Однако они как элементы систем автоматического регулирования имеют некоторые особенности. Основными параметрами ЭМУ, характеризующими его как элемент автоматики, являются коэффициент усиления $K_у$ и постоянная времени T.

Наибольшее распространение получили ЭМУ поперечного поля (рис. VI.29) (так называемые амплидины), так как они могут быть выполнены с наибольшим коэффициентом усиления ($K_у = 100 \div 10\,000$) при наименьших $T = 0{,}1 \div 0{,}3$ с.

Допустимое значение тока, проходящего через обмотки возбуждения ЭМУ (включаемые обычно навстречу друг другу) в течение длительного времени, может превышать номинальное в 5—10 раз.

Наладка ЭМУ выполняется по следующей программе: 1) внешний осмотр и проверка механической части; 2) измерение сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса и между собой; 3) измерение

сопротивления постоянному току обмоток управления, якоря, компенсационной и шунтирующего сопротивления; 4) определение полярности выводов обмоток; 5) проверка направления вращения и притирка щеток; 6) установка щеток на электрическую нейтраль; 7) снятие х.х.х. и контроль соотношения числа витков обмоток управления; 8) снятие внешней характеристики и настройка компенсации; 9) снятие нагрузочной характеристики.

Схема подключения обмоток ЭМУ к зажимам приведена на рис. VI.30. Выводы обмоток ЭМУ имеют следующие обозначения: обмотки управления — OI_1, OI_2, OII_1, OII_2, $OIII_1$, $OIII_2$, OIV_1, OIV_2 (римские цифры обозначают номер обмотки, индекс 1 — начало, 2 — конец обмотки); продольные щетки — $Я_1$ и $Я_2$; обмотка добавочных полюсов $Д_1$ и $Д_2$; компенсационная обмотка — K_1 и K_2.

Испытания по первым четырем пунктам проводятся так же, как и для МПТ.

Рис. VI.29. Схема ЭМУ поперечного поля.

Проверка направления вращения и притирка щеток

В ЭМУ не допускается вращение якоря в направлении, обратном указанному стрелкой. В связи с этим первое включение приводного двигателя осуществляется обычно кратковременным толчком.

Весьма существенное влияние на работу ЭМУ оказывает щеточный контакт. Притирка щеток к коллектору обычно проводится при длительном (5—10 ч) вращении ЭМУ на холостом ходу.

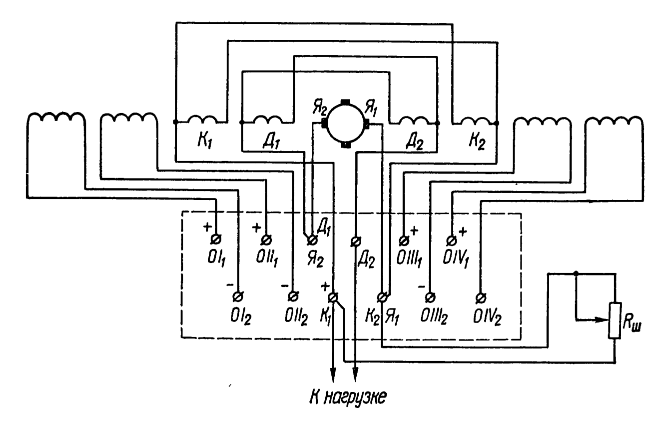


Рис VI.30. Схема подключения к зажимам обмоток ЭМУ.

Установка щеток

Нейтраль ЭМУ поперечного поля проверяют с помощью импульсов постоянного тока, посылаемых в одну из обмоток управления, при включении милливольтметра между поперечными щетками, с которых

снята закорачивающая перемычка. Если продольные и поперечные щетки укреплены на разных траверсах, продольные щетки устанавливают на нейтраль по подключенному к ним милливольтметру при подаче импульсов в цепь раскороченных поперечных щеток. Сдвиг щеток относительно нейтрали в сторону, противоположную вращению якоря, часто приводит к самовозбуждению и потере управления ЭМУ. Подобные явления иногда отмечают и при установке щеток на нейтрали. Сдвиг щеток по направлению вращения вызывает уменьшение коэффициента усиления ЭМУ (повышает крутизну внешней характеристики). Обычно щетки устанавливают со сдвигом относительно нейтрали 1,5—2° в сторону вращения.

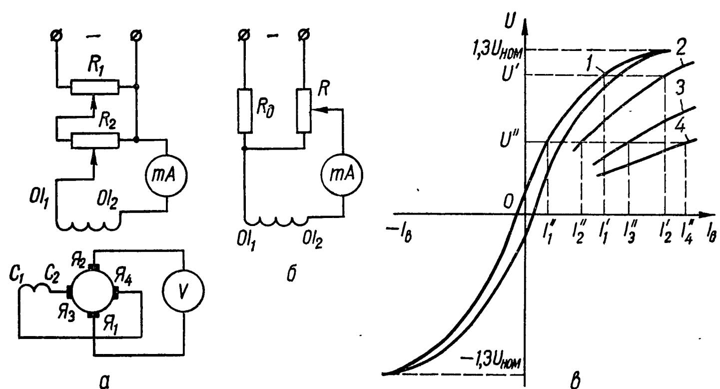


Рис. VI.31. Схема испытаний на холостом ходу ЭМУ (*а* и *б*) и х. х. х. ЭМУ (*в*):

1 — основная характеристика, снятая полностью; *2—4* — дополнительные характеристики, снятые в зоне больших дополнительных напряжений.

Снятие характеристики холостого хода

Х.х.х. снимается так же, как у обычных МПТ (рис. VI.31) в диапазоне напряжений от +1,3 до —1,3 номинального. Помимо основной характеристики, снимаемой при питании одной из обмоток управления, находят несколько точек характеристики при поочередном питании каждой из остальных обмоток управления.

Определение соотношения витков обмоток управления

Соотношение витков обмоток управления проще всего определить при питании одной из них переменным током и измерении трансформируемых напряжений поочередно на всех остальных обмотках Отношение витков двух обмоток управления практически равно отношению напряжений на них:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

так как обычно в ЭМУ зазоры невелики, а магнитопровод выполняется шихтованным. Одновременно с определением соотношения витков по

значению полного сопротивления выявляют витковые замыкания в обмотках.

Можно определить соотношение витков обмоток управления на основании обработки данных, полученных при снятии х.х.х. (см. рис. VI.31,*в*). Находя по характеристикам токи возбуждения разных обмоток управления, соответствующие одному и тому же напряжению на якоре, определяют соотношение витков:

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{I_2'}{I_1'}, \quad \frac{w_2}{w_3} = \frac{I_3'}{I_2''} \text{ и т. д.}$$

Настройка компенсации и определение рабочих характеристик ЭМУ

Размагничивающее действие реакции якоря ЭМУ компенсируется с помощью компенсационной обмотки, включенной последовательно в якорную цепь. В редких случаях, когда компенсация настраивается на заводе-изготовителе, возможность изменения ее не предусматривается в процессе наладки. Обычно вместе с ЭМУ завод-изготовитель поставляет регулировочное сопротивление, шунтирующее компенсационную обмотку. Размыкание цепи шунтирующего сопротивления или включение большого сопротивления (перекомпенсация) может привести к самовозбуждению ЭМУ, т. е. к самопроизвольному увеличению магнитного потока, и, следовательно,напряжения и тока якоря при включении нагрузки. Полная компенсация, т. е. равенство намагничивающих сил реакции якоря и компенсационной обмотки, наступает при частичном выведении шунтирующего сопротивления; при таком режиме работы ЭМУ обладает большим коэффициентом усиления.

На практике чаще всего применяется режим недокомпенсации, когда намагничивающая сила реакции якоря превышает таковую компенсационной обмотки (КО). Существует несколько методов настройки компенсации ЭМУ.

Приближенная настройка. Основное внимание уделяют устойчивости работы ЭМУ при всех нагрузках (от холостого хода до короткого замыкания) и разных режимах возбуждения.

Компенсацию настраивают при отключенных обмотках управления (ОУ) с возбуждением от остаточного магнетизма. Предварительно путем кратковременного подмагничивания устанавливают остаточное напряжение на якоре при холостом ходе ЭМУ, равное 15 % номинального. Шунтирующее сопротивление $R_ш$ полностью выводится, и якорь ЭМУ замыкается через обмотку добавочных полюсов ДО на регулировочный реостат $R_р$ (рис. VI.32).

Вводя постепенно шунтирующее сопротивление, добиваются того, чтобы ток якоря при всех значениях сопротивления регулировочного реостата — от нуля до размыкания его цепи — не превышал 20—25 % номинального. Положение движка шунтирующего сопротивления фиксируется, и ЭМУ может быть включен в работу без опасения, что произойдет его самовозбуждение. Самостоятельного применения этот метод не имеет; им пользуются для настройки по одному из описанных ниже методов.

Для **настройки компенсации путем снятия внешних характеристик** собирают схему (см. рис. VI.32) и определяют зависимость напряжения на якоре от его тока $U_я = f(I_я)$ при $n = \text{const} = n_{ном}$ и неизменном токе управления, соответствующем номинальному режиму работы ЭМУ (рис. VI.33).

В некоторых случаях требуемый наклон внешней характеристики определяется параметрами настройки системы автоматического регулирования, одним из элементов которой является ЭМУ. Перемещая движок шунтирующего сопротивления, добиваются нужной формы внешней характеристики, обеспечивая одновременно настройку компен-

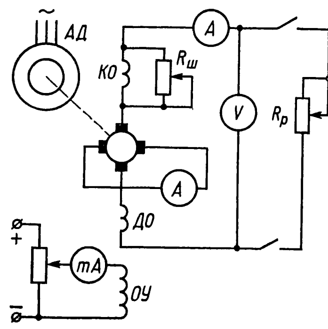


Рис. VI.32. Схема настройки компенсации и снятия рабочих характеристик ЭМУ.

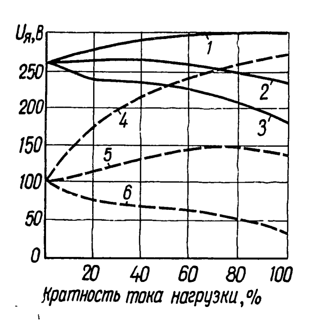


Рис. VI.33. Типовые внешние характеристики ЭМУ-2,5-3000:

1—3 — при нормальном возбуждении соответственно повышенной, нормальной и слабой компенсации реакции якоря; *4—6* — те же характеристики при пониженном возбуждении.

сации. После установки движка снимают внешнюю характеристику при напряжении холостого хода, равном 25 % номинального. Если она не свидетельствует о том, что наступил режим перекомпенсации, что иногда наблюдается при пониженном напряжении, настройку компенсации можно считать законченной. В противном случае выводится еще часть шунтирующего сопротивления до получения недокомпенсированной характеристики при данном напряжении с наклоном 3—5 %. Положение движка шунтирующего сопротивления фиксируется. Окончательно внешняя характеристика снимается при номинальном возбуждении и изменении тока нагрузки от нуля до 1,0—1,5 номинального.

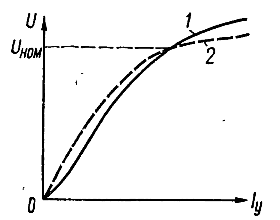


Рис. VI.34. Характеристики ЭМУ, снятые при настройке компенсации:

1 — холостого хода; *2* — нагрузочная.

Если нет специальных указаний о наклоне внешней характеристики, степень компенсации для нормальной работы ЭМУ следует выбирать такой, чтобы наклон этой характеристики составлял 15—20 % при номинальном возбуждении с последующей проверкой отсутствия перекомпенсации при пониженном напряжении.

Настройка компенсации с помощью нагрузочной характеристики

Этот метод применим для ЭМУ, работающих на постоянное сопротивление (ЭМУ — возбудители МПТ в системе генератор—двигатель и др.). При работе ЭМУ на это сопротивление снимают ряд нагрузочных характеристик $U = f(I_у)$, где $I_у$— ток обмотки управления, при разных положениях движка шунтирующего сопротивления, добиваясь получения характеристики, близкой по форме к

соответствующей х.х.х. Если полученная нагрузочная характеристика совпадает с х.х.х. в точке номинального напряжения и лежит выше нее при меньших напряжениях и ниже при бóльших (рис. VI.34), настройку компенсации можно считать законченной.

Для надежности нагрузочные характеристики следует снять при возбуждении от других обмоток управления, отличающихся от первой числом витков, и сравнить их с соответствующими х.х.х.

Определение постоянных времени ЭМУ

Поскольку ЭМУ — элемент системы автоматического регулирования, значительный интерес при выборе настроек и расчете динамических характеристик вызывают коэффициент усиления и постоянные времени ЭМУ. В первом приближении ЭМУ поперечного поля представляет собой двухъемкостное звено, которое для удобства анализа может быть разбито на

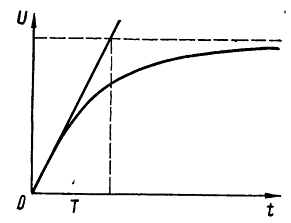


Рис. VI.35. Графическое определение постоянной времени ЭМУ.

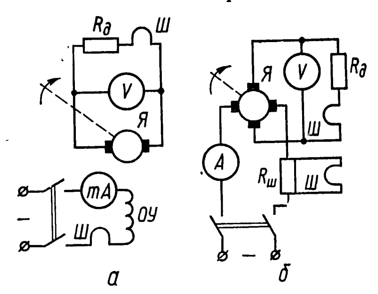


Рис. VI.36. Схемы определения постоянных времени ЭМУ поперечного поля:

а — обмотки управления; *б* — поперечной цепи якоря.

два апериодических (одноемкостных) звена: первое, состоящее из обмотки управления и поперечной цепи якоря с коэффициентом усиления по напряжению K_{U1}, постоянной времени T_1, и второе, образованное поперечной и продольной цепями якоря, с параметрами K_{U2} и T_2.

Если обмотку управления подключить толчком к источнику постоянного напряжения, ток в этой обмотке и напряжение на разомкнутых поперечных щетках будут возрастать в течение времени t по экспоненциальному закону с постоянной времени T (рис. VI.35): отношение установившегося напряжения на этих щетках к напряжению, подключенному к обмотке управления, равно коэффициенту усиления K_{U1}.

При подаче толчком напряжения на разомкнутые поперечные щетки аналогично возрастает напряжение на продольных щетках якоря. В этом случае постоянная времени — T_2, коэффициент усиления — K_{U2}.

Коэффициенты K_{U1} и K_{U2} можно определить в установившемся режиме, измеряя напряжение при указанных выше условиях на обмотке управления и якоре. Постоянные времени могут быть определены по записи на пленку осциллографа изменения напряжения на щетках с последующим построением касательной в начальной точке экспоненты.

Схемы, по которым проводят осциллографирование, показаны на рис. VI.36. Обозначены места включения шлейфов осциллографа *Ш*, дополнительных сопротивлений $R_д$ и шунтов $R_ш$.

При наладке ЭМУ следует иметь в виду, что вследствие большой индуктивности обмоток управления разрыв их цепей, находящихся под током, опасен для персонала, а также для изоляции обмоток и подключенных приборов

Тахогенераторы

Тахогенераторами (ТГ) принято называть генераторы постоянного (реже переменного) тока небольшой мощности, механически сочлененные с приводом и используемые для контроля частоты вращения. Наладка ТГ имеет некоторые особенности.

Характеристики ТГ необходимо снимать до сочленения ТГ с механизмами. Для привода используют небольшой двигатель постоянного тока с широким диапазоном регулирования частоты вращения.

В первую очередь рекомендуется определять характеристику намагничивания $E = f(I_в)$ при неизменной частоте вращения n. При этом нужно, чтобы частота вращения n была близка к рабочей частоте вращения привода. По характеристике намагничивания уточняют силу тока возбуждения, принимаемого в качестве номинального. Вследствие действия остаточного магнетизма при одинаковых частоте вращения и токе возбуждения напряжения ТГ могут различаться на 1—3 %.

Далее определяют скоростные характеристики $E = f(n)$ при неизменном номинальном токе возбуждения. Его повышают первоначально до 120 % номинального, затем снижают до номинального, после чего ступенями увеличивают частоту вращения и снимают характеристику $E = f(n)$. Затем частоту вращения и ток возбуждения уменьшают до нуля. Далее ток возбуждения вновь повышают до номинального значения и вновь снимают характеристику $E = f(n)$. Скоростная характеристика, по которой градуируются таховольтметры, принимается средней между двумя снятыми характеристиками.

Если в нормальном рабочем режиме нагрузка на якоре ТГ не изменяется, то аналогично описанному выше определяется скоростная характеристика $U = f(n)$ при постоянном сопротивлении нагрузки.

Наконец, в приводах с переменной нагрузкой на ТГ снимаются внешние характеристики $U = f(I)$ при неизменных частоте вращения и токе возбуждения. Ток якоря изменяется подключенным к ТГ реостатом, имитирующим нагрузку.

После сочленения ТГ с приводом следует проверить его центровку, точность которой позволяет свести к минимуму оборотные пульсации напряжения.

Глава VII

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

Объем испытаний

Все вводимые в эксплуатацию синхронные генераторы (СГ) и синхронные компенсаторы (СК) предварительно подвергаются приемо-сдаточным испытаниям, согласно ПУЭ, в следующем объеме.

1. Определение возможности включения без сушки СГ напряжением выше 1000 В. Условия включения синхронных машин (СМ) без сушки, методика измерений и нормы для оценки состояния изоляции в соответствии с «Инструкцией по определению возможности включения вращающихся электрических машин переменного тока без сушки» (СН 241—63) приведены в гл.V.

2. Определение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, возбудителя и подвозбудителя, бандажей якоря возбудителя и подвозбудителя, подшипников генератора и возбудителя, термоиндикаторов, цепей возбуждения генератора и возбудителя со всеми присоединенными аппаратами.

3. Испытание изоляции обмотки статора повышенным выпрямленным напряжением с измерением тока утечки по фазам.

4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции обмоток статора, ротора, якоря возбудителя и подвозбудителя, цепей возбуждения генератора и возбудителя со всеми присоединенными аппаратами, реостатов возбуждения и сопротивлений гашения поля.

5. Измерение сопротивления постоянному току обмоток статора, ротора, возбуждения возбудителя, якоря возбудителя, сопротивления гашения поля, реостата возбуждения.

6. Измерение сопротивления обмотки ротора переменному току для генераторов мощностью более 1000 кВт.

7. Измерение воздушного зазора: а) между статором и ротором генератора; б) между полюсами и якорем возбудителя. Размеры зазоров между статором и ротором генератора в диаметрально противоположных точках не должны отличаться друг от друга более чем на ± 10 % их среднего значения для турбогенераторов и на ±20 % — для гидрогенераторов. Размеры зазоров между полюсами и якорем возбудителя в диаметрально противоположных точках не должны отличаться друг от друга более чем на ± 10 % их среднего значения.

Воздушный зазор у явнополюсных машин измеряют под всеми полюсами.

8. Проверка и испытание системы возбуждения СМ с машинным или полупроводниковым возбудителем.

9. Определение характеристик СГ: а) трехфазного короткого замыкания; б) холостого хода.

10. Испытание междувитковой изоляции.

11. Измерение вибрации подшипников.

12. Проверка и испытание системы охлаждения. Производится в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Обычно производится проверка герметичности газовой и плотности водяной систем, испытание повышенным давлением, контрольный анализ газа, проверка качества охлаждающей воды и др.

13. Проверка и испытание системы маслоохлаждения (в соответствии с инструкцией завода-изготовителя).

14. Проверка изоляции подшипника при работе СМ.

15. Испытание СМ под нагрузкой.

16. Измерение остаточного напряжения СГ при отключении АГП в цепи ротора.

17. Определение индуктивных сопротивлений и постоянных времени СМ.

СГ мощностью более 1000 кВт на напряжение выше 1000 В, а также синхронные компенсаторы должны испытываться в полном объеме; СГ мощностью до 1000 кВт на напряжение выше 1000 В испытываются по пп. 1—5 и 7—15; СГ на напряжение до 1000 В испытываются по пп. 2, 4, 5, 8, 10—14.

Объемы и нормы испытаний синхронных двигателей приведены в гл. VIII. Методика испытаний машин постоянного тока приведена в гл. VI.

Помимо перечисленных испытаний в отдельных случаях выполняются дополнительные испытания, методика проведения которых рассматривается в настоящей главе.

Внешний осмотр и проверка механической части

При внешнем осмотре и проверке механической части СМ следует руководствоваться рекомендациями, приведенными в гл. V. Особое внимание должно быть обращено на чистоту машины, состояние изоляции, крепление лобовых частей обмотки, состояние контактных колец, правильность выполнения системы вентиляции и масляного хозяйства.

При значительной загрязненности машину следует продуть сжатым воздухом, протереть обмотку и проверить, нет ли на ней следов масла. Проверить, прочна ли лаковая пленка изоляции обмотки. Изоляция должна быть эластичной, нехрупкой, без задиров или забоин.

Осмотр рекомендуется производить по отдельным частям машины: статору, ротору, возбудителю, системе вентиляции, маслохозяйству.

У статора проверяют целость изоляции и состояние лобовых частей обмотки, изоляции выводных концов, проводки от термопар и термометров сопротивления в доступных местах. Проверяют, на местах ли все заглушки на отверстиях в корпусе статора и прокладки под ними, нет ли в камерах и отсеках корпуса посторонних предметов, мусора. Необходимо убедиться, что крепление лобовых частей обмотки надежно, все шпагатные бандажи и распорки между ними на месте и в исправном состоянии. Если нужно,— подтянуть болты или шпагат. Места механических повреждений изоляции отметить.

При осмотре ротора проверяют состояние контактных колец, их изоляции, щеточного аппарата, шеек вала, прочность крепления балансировочных грузов. Отмечают, чиста ли поверхность контактных колец, нет ли царапин, окалины на боковой поверхности, трещин, забоин, не попало ли масло. Изоляция колец друг от друга и от корпуса не должна иметь видимых нарушений и загрязнения.

Осматривая щеточный аппарат, проверяют соответствие марки, размеров и количества щеток (см. табл. VI.1; табл. VII.1) требованиям

Таблица VII. 1. **Рекомендации по применению электрощеток СМ**

Линейная скорость, м/с	Плотность тока, А/см²	Рекомендуемые марки щеток	
		основные	дополнительные
До 15	До 8	Г3, Г2	—
До 25	10—12	МГ4, ЭГ4	Г3, Г8, М6
25—40	До 10	ЭГ, ЭГ14 ЭГ11, ЭГ12	М2, М3, М20 ЭГ83
Больше 40	До 9	ЭГ83	

завода-изготовителя, крепление щеткодержателей на траверсе, присоединение поводков щеток к кольцам траверсы, равномерный и допустимый нажим щеток. Давление щеток на кольцо должно соответствовать ГОСТ и техническим условиям на щетки. Посадка щеток считается правильной, если они сидят в обоймах щеткодержателей свободно, но без слабины, не свешиваясь за край контактных колец; расстояние щетки от края не меньше допустимого осевого разбега вала. При затянутых стопорных приспособлениях траверса плотно сидит в своем гнезде. Расстояние между нижними краями обойм щеткодержателей и поверхностью контактных колец составляет обычно 2—3 мм. Шейки вала должны быть очищены от грязи и ржавчины, без царапин, забоин и прочих повреждений.

Если есть вентиляционные лопатки на роторе, проверяется затяжка болтов или гаек, которыми они прикреплены, и крепление балансировочных грузиков. В местах горячей посадки бандажей и центрирующих колец ротора не должно быть контактной коррозии, трещин и других механических повреждений.

У роторов явнополюсных машин проверяют плотность установки междуполюсных распорок, отсутствие забоин на поверхности обмотки, выполняемой голой медью, гнутой на высокое ребро.

При проверке системы вентиляции обращают внимание на отсутствие загрязнения воздушных каналов и соответствие их сечения проектным данным. Фильтры должны быть снабжены микроманометрами для контроля загрязненности по разрежению.

При осмотре масляного хозяйства проверяют уплотнения подшипников, препятствующие вытеканию масла, убеждаются в том, что смазочные кольца находятся на своих местах и свободно висят на валу, что скребок, снимающий масло с диска (при дисковой смазке), свободно стоит в гнезде, что отверстие для стока масла не засорено.

Измерение сопротивления изоляции

Методика измерений рассмотрена в гл. III и V. Сопротивление изоляции обмоток ЭМ относительно ее корпуса и сопротивление изоляции между обмотками при рабочей температуре машины в соответствии с СН 241 — 63 должно быть не ниже значения, определяемого по (V.1).

Значения сопротивления изоляции, согласно ПУЭ, приведены в табл. VII.2.

Сопротивление изоляции изолированных подшипников при полностью собранных маслопроводах проверяют мегомметром при монтаже. Чтобы исключить влияние соприкосновения вала с подшипником, вал СМ со стороны возбудителя приподнимают подъемным краном, под шейку под-

Таблица VII.2. **Наименьшие допустимые значения сопротивления изоляции СМ**

Испытываемый объект	Напряжение мегомметра, В	Норма
Обмотка статора напряжением до 1000 В	1000	Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм при температуре от +10 до +30°C
То же напряжением выше 1000 В	2500	Сопротивление изоляции должно соответствовать СН 241—63. У генераторов с водяным охлаждением обмоток измерения производятся без воды при соединенных с экраном мегомметра водосборных коллекторах, изолированных от внешней системы охлаждения
Обмотка ротора	1000 (допускается 500)	Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5МОм при температуре от +10 до +30° С. Допускается ввод в эксплуатацию неявнополюсных роторов, имеющих сопротивление изоляции не ниже 2 кОм при 75° С или 20 кОм при 20° С
Подшипники генератора и сопряженного с ним возбудителя	1000	Не менее 0,3 МОм для гидрогенераторов и не менее 1 МОм для турбогенераторов
Водородные уплотнения вала	1000	Не менее 1 МОм
Изоляция щитов вентиляторов турбогенераторов ТВВ	1000	Сопротивление изоляции, измеренное относительно внутреннего щита и между полущитами вентиляторов, не менее 0,5 МОм
Изоляция щитов и диффузоров вентилятора турбогенератора ТГВ	1000; 500	Не менее 1 МОм
Доступные изолированные стяжные болты стали статора	1000	Не менее 1 МОм
Термоиндикаторы: для СГ и СК с косвенным охлаждением обмоток статора	250	Не менее 1 МОм (совместно с соединительными проводами)
Для СГ и СК с непосредственным охлаждением обмоток статора	500	Не менее 0,5 МОм (совместно с соединительными проводами)
Цепи возбуждения СГ и возбудителя (без обмоток ротора и электромашинного возбудителя)	1000 (допускается 500)	Не менее 1 МОм (со всей присоединенной аппаратурой)

кладывают изоляционный картон. Если под изолируемый подшипник положены два слоя изоляции, между которыми имеется лист из стали или другого электропроводящего материала, сопротивление изоляции можно контролировать без разборки подшипника.

Маслопроводы присоединяют к подшипнику через короткие патрубки, изолированные с обеих сторон. Это позволяет проверить сопротивление изоляции маслопровода, не вскрывая подшипника. У гидрогенераторов контролируют сопротивление изоляции подпятника и направляющих подшипников, если это позволяет их конструкция.

Для проверки изоляции подшипников в процессе работы СМ электрическое напряжение на концах вала ротора измеряют вольтметром с малым внутренним сопротивлением и низкими пределами измерения. При этом применяют метод двух последовательных измерений напряжения в контуре (рис. VII.1). При первом измерении определяют напряжение U_1 на концах вала ротора, при втором — напряжение U_2 между фундаментной плитой и корпусом подшипника со стороны возбудителя. Величину U_2 измеряют при закороченных масляных пленках в обоих подшипниках СМ. Если изоляция подшипника исправна, $U_1 = U_2$. Различие напряжений больше чем на 10 % указывает на неисправность изоляции. Напряжение U_2 при измерении должно быть меньше напряжения U_1. Описанный выше вольтметр можно заменить вольтметром на большие пределы измерения, включенным через повышающий трансформатор (например, на 220/12В).

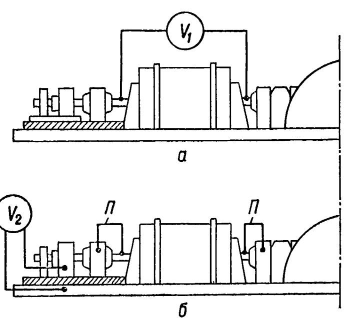


Рис. VII.1. Определение состояния изоляции подшипника турбогенератора во время его работы:

а — измерение напряжения на концах вала; *б* — измерение напряжения между стойкой подшипника и фундаментной плитой (*П* — перемычка для шунтирования масляной пленки).

Сопротивление изоляции температурных детекторов измеряют вместе с сопротивлением проводов, соединяющих измерительный прибор и температурный детектор, и с сопротивлением соединительных проводов, уложенных внутри машины.

Испытание электрической прочности изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Методика испытаний рассмотрена в гл. III и V. Значения испытательных напряжений для СГ и СК приведены в табл. VII.3, для СД — в гл. VIII. Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения 1 мин.

При производстве испытаний изоляции повышенным напряжением промышленной частоты руководствуются следующим:

а) испытание изоляции обмоток статора генератора рекомендуется производить до ввода ротора в статор. Если стыковка и сборка статора гидрогенератора осуществляются на монтажной площадке и впоследствии статор устанавливается в шахту в собранном виде, то изоляция его испытывается дважды: после сборки на монтажной

Таблица VII. 3. **Испытательные напряжения промышленной частоты для обмоток синхронных генераторов и компенсаторов**

Испытываемый объект	Характеристика электрической машины	Испытательное напряжение, В
Обмотка статора синхронных генераторов и компенсаторов	Мощность до 1000 кВт при номинальном напряжении выше 100 В	$1{,}6\,U_{ном}+800$, но не менее 1200
	Мощность более 1000 кВт при номинальном напряжении до 3300 В	$1{,}6\,U_{ном}+800$
	То же при номинальном напряжении выше 3300В и 6600 В	$2\,U_{ном}$
Цепи возбуждения генератора со всей присоединенной аппаратурой (без обмоток ротора и возбудителя)		1000
Реостаты возбуждения		1000
Сопротивление гашения поля		2000
Заземляющее сопротивление		$1{,}5\,U_{ном}$ генератора
	То же при номинальном напряжении выше 6600 В	$1{,}6\,U_{ном}+2400$
Обмотка статора синхронных генераторов, у которых стыковка частей статора производится на месте монтажа (гидрогенераторы) по окончании полной сборки обмотки и изолировки соединений	Мощность до 1000 кВт при номинальном напряжении выше 100 В	$2\,U_{ном}+1000$, но не менее 1500
	Мощность более 1000 кВт при номинальном напряжении до 3300 В	$2\,U_{ном}+1000$
	То же при номинальном напряжении выше 3300 В до 6600 В	$2{,}5\,U_{ном}$
	То же при номинальном напряжении выше 6600В	$2\,U_{ном}+3000$
Обмотка явнополюсного ротора		$8{,}0\,U_{ном}$ возбуждения генератора, но не менее 1200 и не более 2800
Обмотка неявнополюсного ротора		1000 (в том случае, если это не противоречит требованиям технических условий завода-изготовителя)

площадке и после установки статора в шахту до ввода ротора в статор. В процессе испытания осуществляется наблюдение за состоянием лобовых частей машины: у турбогенераторов — при снятых торцовых щитах, у гидрогенераторов — при открытых вентиляционных люках;

б) испытание изоляции обмотки статора для машин с водяным охлаждением следует производить при циркуляции дистиллированной воды в системе охлаждения с удельным сопротивлением не менее 75 000 Ом/см и номинальном расходе;

в) после испытания обмотки статора повышенным напряжением в течение 1 мин у генераторов напряжением 10 кВ и выше испытательное напряжение следует снизить до номинального напряжения генератора и выдержать в течение 5 мин для наблюдения за коронированием лобовых частей обмоток статора. При этом не должно быть сосредоточенного в отдельных точках свечения желтого или красного цвета, появления дыма, тления бандажей и тому подобных явлений. Голубое и белое свечение допускается;

г) испытание изоляции обмотки ротора турбогенераторов производится при номинальной частоте вращения ротора.

Измерение сопротивления постоянному току элементов синхронных машин (СМ)

Методика измерений рассмотрена в гл. II и V.

Предельные значения допустимых отклонений сопротивления постоянному току приведены в табл. VII.4.

Таблица VII.4. **Допустимые отклонения сопротивлений постоянному току элементов СГ и СК**

Испытываемый объект	Норма
Обмотка статора (измерение производить для каждой фазы или ветви в отдельности)	Измеренные сопротивления в практически холодном состоянии обмоток разных фаз не должны различаться более чем на 2%. Вследствие конструктивных особенностей (большая длина соединительных дуг и пр.) расхождение между сопротивлениями ветвей у некоторых типов СГ может достигать 5%
Обмотка ротора	Измеренное сопротивление обмоток не должно отличаться от данных завода-изготовителя более чем на 2%. У явнополюсных роторов измерение производится для каждого полюса в отдельности или попарно
Сопротивление гашения поля, реостаты возбуждения	Сопротивление не должно отличаться от данных завода-изготовителя более чем на 10%

При измерении сопротивления обмоток ротора для создания надежного контакта в токовых цепях применяют хомуты с болтовыми соединениями в местах разъема, надеваемые на зачищенные кольца ротора.

Проверка правильности маркировки выводов и полярности обмоток

В табл. VII.5 приведены обозначения выводов обмоток ЭМ трехфазного переменного тока (ГОСТ 183—74). У машин, предназначенных для одного определенного направления вращения, порядок чередования обозначений выводов соответствует порядку следования фаз.

Таблица VII.5. **Обозначение выводов обмоток ЭМ трехфазного переменного тока**

Вид и схема соединений обмоток	Число выводов	Название выводов	Обозначение	
			начала	конца
Обмотка статора (якоря):				
открытая схема	6	Первая фаза	C1	C4
		Вторая фаза	C2	C5
		Третья фаза	C3	C6
соединение звездой	3 или 4	Первая фаза	C1	
		Вторая фаза	C2	
		Третья фаза	C3	
		Нулевая точка	0	
соединение треугольником	3	Первый зажим	C1	
		Второй зажим	C2	
		Третий зажим	C3	
Обмотка возбуждения (индукторов) СМ	2		И1	И2

Выводы машин переменного тока с составными и секционированными обмотками обозначают теми же буквами, что и простые обмотки (см. табл. VII.5), с дополнительными цифрами впереди. Так, при двух обмотках на статоре выводы первой обмотки обозначаются: 1C1, 1C2 1C3, 1C4, 1C5 и 1C6; выводы второй обмотки —2C1, 2C2, 2C3, 2C4, 2C5 и 2C6. Выводы асинхронных двигателей, имеющих секционированные обмотки для изменения числа полюсов, обозначают теми же бук-

Таблица VII.6. **Обозначение выводов асинхронных двигателей с четырьмя скоростями вращения**

Число полюсов	Обозначение выводов
4	4C1, 4C2, 4C3
6	6C1, 6C2, 6C3
8	8C1, 8C2, 8C3
12	12C1, 12C2, 12C3

Таблица VII.7. **Обозначение выводов обмоток ротора трехфазных асинхронных двигателей**

Число выводов на контактных кольцах	Название выводов	Обозначение
3	Первая фаза	P1
	Вторая фаза	P2
	Третья фаза	P3
4	Первая фаза	P1
	Вторая фаза	P2
	Третья фаза	P3
	Нулевая точка	0

вами, что и простые обмотки, с дополнительными цифрами впереди, указывающими число полюсов данной секции. Пример обозначения выводов для двигателей с четырьмя скоростями вращения приведен в табл. VII.6.

Обозначение выводов обмоток ротора трехфазных асинхронных двигателей приведено в табл. VII.7. Расположение колец должно быть в порядке цифр, указанных в табл. VII.7, а кольцо Р1 должно быть наиболее удаленным от обмотки ротора.

Обозначения выводов обмоток однофазных машин приведены в табл. VII.8.

Методы проверки правильности маркировки выводов и полярности обмоток приведены в гл. VIII.

Таблица VII.8. **Обозначение выводов обмоток однофазных машин**

Название выводов	Число выводов	Обозначение выводов	
		начала	конца
Обмотка статора (якоря) синхронных машин	2	C1	C2
Обмотка статора асинхронных двигателей			
главная	2	C1	C2
пусковая	2	B1	B2
Обмотка возбуждения (индуктора) синхронных машин	2	И1	И2

Определение порядка чередования фаз обмотки статора и направления вращения ротора двигателя

Наиболее простым стационарным методом определения порядка чередования фаз обмотки статора трехфазных ЭМ является **метод импульсов постоянного тока** (рис. VII.2,*а*). Отличительная особенность этого метода состоит в подаче импульсов постоянного тока в обмотку

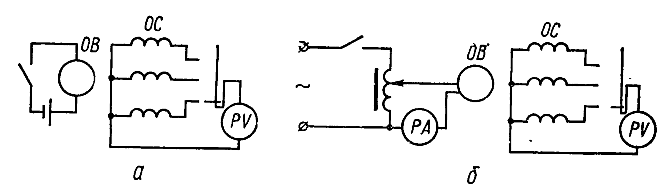


Рис. VII.2. Схемы для определения чередования фаз синхронного генератора:

а — методом импульсов постоянного тока; *б* — методом переменного тока.

возбуждения, ось которой может свободно перемещаться в плоскости, перпендикулярной валу. Согласно рис. VII.2,*а*, источник постоянного тока напряжением 2—4 В (аккумулятор, сухой элемент и т. п.) через прерыватель присоединяют к *ОВ*. Универсальный магнитоэлектрический вольтметр поочередно подключают одним зажимом к началу трех фаз, а другим — к нулевой точке *ОС*.

Оси обмоток фаз смещены друг относительно друга на 120°, поэтому при подаче импульсов в одной из фаз всегда будет индуктироваться ЭДС, отличающаяся по знаку от ЭДС других фаз. Фаза, в которой ЭДС отличается знаком от других, может быть выделена и условно названа первой. Затем ротор генератора с помощью валоповоротного устройства (или другим способом) поворачивают на 120° в направлении вращения вала, т. е. на 120, 60 и 40° для машин с номинальными частотами вращения, соответственно равными 3000, 1500 и 1000 об/мин. После этого опыт повторяют с соблюдением полярности импульсов, подаваемых в обмотку возбуждения. ЭДС, отличающаяся по знаку от двух других, будет находиться в фазе, которая непосредственно следует за первой.

Для контроля желательно провести третий опыт после поворота вала еще на 120° в сторону вращения. Углы проще всего отсчитывать со стороны коллектора возбудителя, где щеточные ряды делят окружность практически на равные части.

Таблица VII.9. **К определению чередования фаз СМ**

Угол поворота ротора, °	Фаза		
	A	*B*	*C*
0	+	+	—
120	—	+	+
240	+	—	+

Применяя этот метод для соединения фаз ОС в треугольник или звезду без выведенной нулевой точки, зажимы вольтметра поочередно подключают к выводам обмотки в такой последовательности: *A*—*B*, *B*—*C*, *C*—*A*. Фазы, обозначенные первыми буквами, присоединяют к зажиму вольтметра, который принят за начало. Условные обозначения *A*, *B*, *C* предварительно наносят на выводы обмотки. Знаки ЭДС, измеренных между выводами *A*—*B*, *B*—*C* и *C*—*A* при различных положениях ротора, записывают в таблицу, аналогичную табл. VII.9.

Когда машины работают в блоке с трансформаторами, порядок чередования фаз сети легче проверять с высокой стороны; после маркировки выводов опыт желательно повторить, измерив ЭДС, индуктируемые за трансформатором. Это удобно делать на вторичной стороне ТН.

Применение метода импульсов постоянного тока целесообразно для быстроходных СМ, для тихоходных применяют **метод переменного тока** (рис. VII.2,*б*).

В обмотку возбуждения через регулировочный АТ подают небольшой ток промышленной частоты. При этом в фазах *A*, *B*, *C* индуктируемые напряжения с некоторыми допущениями могут быть определены из следующих выражений:

$$U_A = U_{\text{макс}} \cos \alpha,$$
$$U_B = U_{\text{макс}} \cos (\alpha - 120°),$$
$$U_C = U_{\text{макс}} \cos (\alpha - 240°),$$

где $U_{\text{макс}}$ — напряжение, индуктируемое в фазе при совпадении ее оси с осью обмотки возбуждения, т. е. когда угол между осями $\alpha = 0$.

К началу одной из фаз ОС, принимаемой условно за первую, и к нулевой точке присоединяют многопредельный вольтметр переменного тока. Плавно перемещая ротор генератора в направлении вращения, добиваются отклонения стрелки прибора, близкого к максимальному. На двух других фазах устанавливается примерно одинаковое напряжение, равное 1/2 $U_{\text{макс}}$. Если затем ротор медленно поворачивать в том же направлении, в диапазоне 0—30°, в фазе, непосредственно следующей за первой, напряжение уменьшится до нуля, а в третьей фазе—

возрастет. Таким образом, по характеру изменения показаний вольтметра, включенного на одну из этих фаз, можно судить, является ли фаза второй или третьей.

При измерениях удобно пользоваться двумя вольтметрами. Опыт должен быть повторен два-три раза для исключения случайных ошибок при резком повороте ротора, особенно у машин с большим числом полюсов.

Если машина имеет только три вывода ОС, вольтметр подключают вначале к любым двум выводам, принимаемым за *A* и *B*. Поворачивая ротор, добиваются такого его положения, при котором максимально отклоняется стрелка прибора. Затем вольтметр подсоединяют к выводам *B* и *C*. При дальнейшем медленном повороте ротора показания прибора уменьшаются, из чего следует, что выводы обозначены правильно. Если же показания возрастают, обозначения любых двух выводов следует поменять местами и повторить опыт.

Для блоков генератор — трансформатор или трансформатор — двигатель измерения проводят на высокой стороне трансформатора. Вольтметр включают через трансформаторы напряжения. Определению порядка чередования фаз стационарными методами всегда должно предшествовать измерение сопротивления изоляции обмоток, сопротивления их постоянному току, а также определение или проверка правильности обозначения начала и конца фаз.

Определение последовательности чередования фаз возможно при осмотре расположения фаз на статоре и выяснения последовательности прохождения мимо фазных обмоток полюса ротора. При осмотре прослеживают (начиная от выводов) вход в пазы начала всех фаз ОС. Зная направление вращения ротора, определяют последовательность, в какой, вращаясь в данном направлении, ротор пройдет мимо начала фазных обмоток.

Последовательность чередования фаз можно определить методом индикатора высокого напряжения. Подавая поочередно на каждую фазу высокое напряжение (в процессе испытания изоляции), индикатором, подносимым к лобовым частям обмотки, находят последовательность расположения фазных обмоток. Порядок чередования фаз генератора чаще всего проверяют фазоуказателем (или эталонным вспомогательным трехфазным АД с короткозамкнутым ротором), подключаемым либо непосредственно, либо через вспомогательный трансформатор.

Для определения направления вращения ротора проводят следующий опыт. В обмотку ротора подают постоянный ток, равный 5—10 % номинального. К статору подключают указатель чередования фаз. Во время поворота ротора в требуемом направлении фазоуказатель получает напряжение, достаточное для слабого вращения его диска. Отметив выводы статора по маркировке указателя, этим же прибором проверяют чередование фаз питающего кабеля (или шин). Затем подключают кабель (или шины) к соответствующим (по маркировке) выводам статора.

Для двигателей высокого напряжения при проверке чередования фаз питающего кабеля (шин) ФУ подключают через трансформаторы напряжения. Для двигателей низкого напряжения напряжение на зажимах ФУ можно увеличить, подключив его к статору через два небольших трансформатора напряжением 220/12 В.

Порядок чередования фаз ОС двигателя может быть определен методами импульсов постоянного тока или подачей в ОВ переменного тока (как для генераторов). Сравнивая определенный одним из способов порядок чередования фаз двигателя с порядком чередования фаз питающей сети, можно определить направление вращения двигателя.

Измерение полного сопротивления обмотки ротора переменному току промышленной частоты

Измерение производится с целью выявления витковых замыканий в обмотке ротора. Применяется метод вольтметра — амперметра. Подаваемое на кольца ротора или часть обмотки (у явнополюсных роторов) напряжение не должно превышать 220 В. При пониженном сопротивлении изоляции обмотки по отношению к корпусу следует применять разделительный трансформатор. Измерение следует производить на трех-четырех ступенях частоты вращения, включая номинальную, а также в неподвижном состоянии, поддерживая приложенное напряжение или ток неизменными. При неизолированных местах соединения обмоток полюсов явнополюсных роторов измерение производится для каждого полюса в отдельности или попарно в неподвижном состоянии.

Отклонения измеренных значений от данных завода-изготовителя или среднего значения сопротивления полюсов должны находиться в пределах точности измерения.

Определение характеристик синхронных машин

Снятие характеристики холостого хода и испытание междувитковой изоляции

Х.х.х. генератора выражает зависимость напряжения на зажимах статора U_0 от тока возбуждения $I_в$ при постоянном числе оборотов и отсутствии нагрузки. Основные сведения о методике снятия этой характеристики приведены в гл. V.Х.х.х. синхронных машин можно снимать в режимах генератора и двигателя, но рекомендуется режим генератора.

Согласно ГОСТ 10169—77, у СМ с самовозбуждением, имеющих доступные выводы ОВ (например, контактные кольца), х.х.х. снимают при питании ОВ от постороннего источника.

Для получения х.х.х. в режиме генератора СМ приводят во вращение с номинальной скоростью с помощью первичного двигателя. Характеристику снимают при убывающем токе возбуждения. Остаточное напряжение генератора измеряют, снижая ток возбуждения до нуля. При необходимости снятую характеристику смещают по оси абсцисс на $\Delta I_в$, полученную графической экстраполяцией этой характеристики до пересечения с осью абсцисс (рис. VII.3), и получают х.х.х., проходящую через начало координат.

В режиме двигателя х.х.х. снимают при питании испытываемой машины от источника, напряжение которого можно плавно изменять от значения не менее 1,3 номинального практически до нуля. В этом режиме х.х.х. определяют при коэффициенте мощности, равном единице. Для этого при каждом значении напряжения измеряют ток возбуждения, соответствующий минимальному току в ОС (якоре).

Для снятия х.х.х. в режиме генератора (рис. VII.4) измеряют ток возбуждения, линейное напряжение и частоту (или частоту вращения), а в режиме двигателя, кроме того, ток в фазе.

При соединении обмотки статора звездой для оценки третьей гармонической составляющей ЭДС измеряют фазовое напряжение, а при соединении треугольником — ток в фазе.

Перед снятием х.х.х. проводится испытание витковой изоляции. Для этого возбуждение СМ плавно поднимают до значения, соответствующего номинальному току возбуждения, но не ниже 150 % $U_{ном}$ гидрогенератора или 130 % $U_{ном}$ турбогенератора и синхронного компенсатора. Наибольшее напряжение выдерживается в течение 5 мин.

Для генераторов, работающих в блоке с трансформаторами при отсутствии между ними коммутационных аппаратов, напряжение поднимают до 115 % $U_{ном}$ (ограничивается трансформатором). Х. х. х. собственно генератора, отсоединенного от трансформатора блока, допускается не снимать, если имеются протоколы соответствующих испытаний на заводе-изготовителе.

Определение х.х.х. (особенно СК и СД) допускается производить на выбеге машины, если снижение частоты вращения не превышает

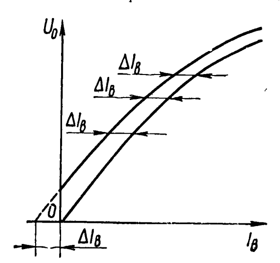


Рис. VII.3. Характеристики холостого хода СМ.

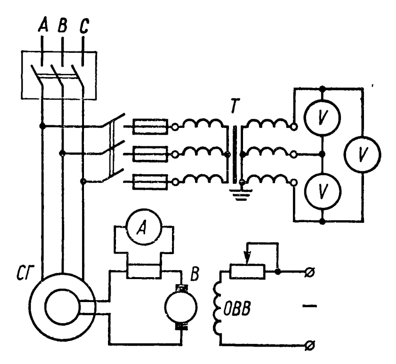


Рис. VII.4. Схема включения приборов при снятии характеристики холостого хода.

0,04 номинальной частоты вращения за одну секунду. Если снижение частоты вращения за одну секунду превышает 0,02 номинальной, возбуждение следует осуществлять от отдельного источника. Непосредственно перед отключением машины от сети необходимо установить ток возбуждения, соответствующий, если возможно, номинальному, но не ниже значения тока, при котором напряжение испытываемой машины составляет 1,3 $U_{ном}$ в режиме холостого хода. После отключения машины ток возбуждения следует снижать ступенями, фиксируя одновременно ток возбуждения, линейное напряжение и частоту (или частоту вращения).

Отсчеты и запись показаний приборов при снятии характеристики рекомендуется делать при 130, 125, 120, 110, 100, 85, 70, 50, 30, 0 % номинального напряжения (указанная шкала напряжений является ориентировочной; небольшие отступления в ту или другую сторону не влияют на характеристику). Регулировку шунтовым реостатом следует проводить только в одном направлении.

Для получения последней точки характеристики (0 %), цепь возбуждения генератора размыкают и измеряют остаточное напряжение (рекомендуется без трансформатора напряжения). Полученную х.х.х. сравнивают с характеристикой предыдущего испытания. Отклонение характеристики от заводской х.х.х. не нормируется, но должно быть в пределах точности измерений.

При частоте вращения ротора во время испытания ниже номинальной значение напряжения, соответствующее номинальной частоте вращения, определяется по формуле

$$U = U_{изм} \frac{n_{ном}}{n_{изм}},$$

где U — напряжение, соответствующее номинальной частоте вращения, В; $U_{изм}$ — измеренное напряжение, В; $n_{ном}$ и $n_{изм}$ — соответственно номинальное и измеренное число оборотов ротора в минуту.

Одновременно со снятием х.х.х. проверяют симметрию напряжений ОС. Согласно ГОСТ 10169—77 эта проверка может осуществляться при любом значении напряжения (рекомендуется при номинальном). Для определения симметрии напряжения одновременно измеряют напряжение между тремя линейными выводами. Если нет трех приборов, можно выполнить измерение двумя вольтметрами: один включают поочередно между каждой парой линейных выводов, а другой для контроля оставляют подключенным к любой паре линейных выводов. Симметрию напряжений оценивают по отношению разности между наибольшим и наименьшим измеренными линейными напряжениями к среднему его значению:

$$\varepsilon = \frac{U_{макс} - U_{мин}}{U_{ср}} 100 \, [\%].$$

Для измерения напряжения высоковольтных машин можно использовать установленные трансформаторы напряжения, подключенные к выводам машины.

Характеристика трехфазного короткого замыкания

Согласно ГОСТ 10169—77 характеристика короткого замыкания определяет зависимость тока в цепи ОС (якоря) от тока возбуждения машины, работающей в режиме генератора, при установившемся трехфазном коротком замыкании.

Характеристика короткого замыкания используется при расчете эксплуатационных параметров генератора и определении исправности машины. Одновременно с определением этой характеристики могут быть определены активные потери в обмотках:

$$\Delta P = mI^2R \text{ [Вт]},$$

где m — число фаз статора; I — ток статора, А; R — сопротивление фазы статора при 75 °С, Ом.

Накоротко фазы замыкают как можно ближе к выводам машины проводниками минимальной длины. Сечение проводников выбирают по ожидаемому току. Для СМ, работающих по схеме самовозбуждения и имеющих доступные выводы ОВ (например, контактные кольца), характеристику короткого замыкания снимают при питании ОВ от постороннего источника, как и при определении х.х.х. (рис. VII.5). При испытании измеряют токи в фазах ОС и ток возбуждения. У машин с соединением фаз ОС треугольником измеряют линейный и фазный токи. Характеристика трехфазного короткого замыкания представляет собой прямую. Для построения ее достаточно сделать три-четыре отсчета при разных значениях тока статора.

Если одновременно со снятием характеристики определяют потери в обмотках, следует делать не менее шести отсчетов через приблизительно равные интервалы токов, в том числе отсчет при выключенном возбуждении. Один из отсчетов делают при токе, близком к номинальному току в ОС. Рекомендуется определять характеристику при убывающих токах.

Сила тока трехфазного короткого замыкания при определенном токе возбуждения не зависит от частоты вращения генератора. Поэтому, если одновременно с испытанием не определяют потери в обмотках, точное поддержание частоты на уровне номинальной не требуется; поправку на отклонение частоты вращения от номинальной в результаты испытания не вносят.

На рис. VII.6 показана характеристика короткого замыкания СМ. При отсутствии остаточного намагничивания у машин характеристика проходит через начало координат, при остаточном намагничивании она отклоняется. Для получения характеристики, проходящей через начало координат, в последнем случае ее смещают аналогично х.х.х.

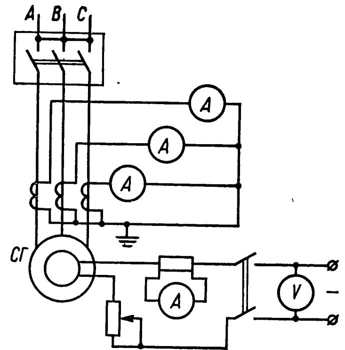


Рис. VII.5. Схема включения приборов при снятии характеристики короткого замыкания.

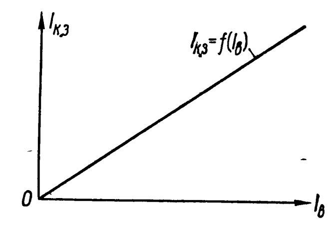


Рис. VII.6. Характеристика короткого замыкания СМ.

У генераторов, работающих в блоке с трансформатором, снимается характеристика всего блока (с установкой закоротки за трансформатором). Характеристику собственно генератора допускается в этом случае не снимать, если имеются протоколы соответствующих испытаний на заводе-изготовителе.

Определение характеристики допускается производить на выбеге, если снижение частоты вращения за одну секунду не превышает 0,1 номинальной. При снижении частоты вращения за одну секунду, превышающем 0,04 номинальной, возбуждение следует осуществлять от отдельного источника.

Отклонение измеренной характеристики короткого замыкания от заводской должно находиться в пределах точности измерения. Существенное снижение измеренной характеристики свидетельствует о витковых замыканиях в обмотке ротора.

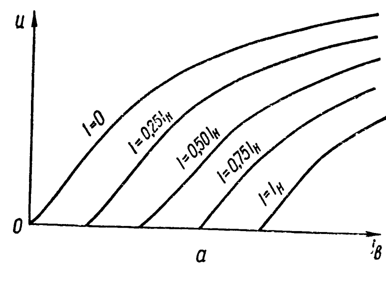
Нагрузочные характеристики

Нагрузочная характеристика СГ представляет собой зависимость напряжения ОС от тока возбуждения $U = f(I_в)$ при неизменных значениях $I_{ст}$, $\cos\varphi$ и f.

Вид нагрузочных характеристик при различных токах нагрузки показан на рис. VII.7.

Нагрузочные характеристики СГ можно определить двумя способами.

1. Испытываемая машина с приводным двигателем имеет номинальное напряжение, равное номинальному напряжению сети. Ее синхронизируют с сетью, затем повышают ее возбуждение до тех пор, пока ток, отдаваемый машиной, не будет номинальным. Регулируют приводной двигатель так, чтобы между машиной и сетью не было обмена активной мощностью.



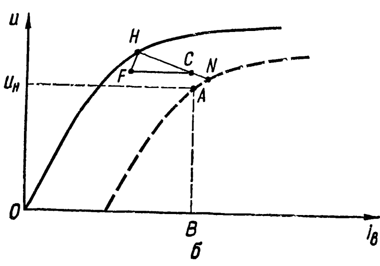


Рис. VII.7. Нагрузочные характеристики СМ (*а*) и графическое определение тока возбуждения при $\cos\varphi = 0$ и $U_{ном}$ (*б*).

Если напряжение и ток при испытании отличаются от номинальных не более чем на 15 %, ток возбуждения, соответствующий номинальному, определяется графическим методом. Согласно ГОСТ 10169—77, для этого на графике, на котором нанесена х.х.х. испытываемой машины, ставят точку, соответствующую измеренным значениям напряжения и тока возбуждения при коэффициенте мощности, равном нулю (см. точку *C* на рис. VII.7) и измеренном токе статора (якоря). Затем из точки *C* параллельно оси абсцисс в сторону х.х.х. откладывают отрезок *CF*, равный току возбуждения, соответствующему по характеристике установившегося короткого замыкания току статора (якоря), измеренному при определении точки *C*. Через точку *F* проводят прямую параллельно начальной части х.х.х. до пересечения с ней в точке *H*. Через точки *H* и *C* проводят прямую и из точки *H* откладывают на ней отрезок *HN*, определяемый из выражения $\frac{HN}{HC} = \frac{I_{ном}}{I}$, где I — ток статора (якоря), измеренный при определении точки *C*, $I_{ном}$ — номинальный ток статора (якоря). Х.х.х. затем переносят параллельно самой себе вправо и вниз на расстояние *HN*. На этой характеристике находят точку *A*, соответствующую номинальному напряжению. Абсцисса этой точки (*OB*) определяет ток возбуждения при номинальных напряжениях и токе статора (якоря) в режиме перевозбуждения при коэффициенте мощности, равном нулю, а кривая представляет нагрузочную характеристику.

2. Испытываемая машина с приводным двигателем работает на другую вспомогательную СМ с тем же номинальным напряжением, но большей мощности (не менее чем в полтора раза). Если вспомогательная СМ имеет свой приводной двигатель, обе машины приводят в движение от своих двигателей и синхронизируют. Затем одновременно возбуждение испытываемой машины повышают, а вспомогательной — понижают до тех пор, пока ток, отдаваемый машиной, не будет номи-

нальным. Если одна из СМ приводится от двигателя постоянного тока, можно добиться, чтобы не было обмена активных мощностей между машинами.

Если вспомогательная СМ не имеет своего приводного двигателя, порядок проведения опыта не изменяется. Однако в этом случае все потери вспомогательной машины покрываются от испытываемой, вследствие чего коэффициент мощности последней не равен нулю. Результаты испытания в связи с этим имеют незначительную погрешность.

U-образная характеристика

Эта характеристика представляет собой зависимость тока статора от тока возбуждения при постоянных частоте, напряжении на выводах и полезной мощности на валу двигателя. U-образную характеристику снимают при холостом ходе и нескольких значениях активной нагрузки.

Рекомендуется снимать U-образную характеристику при наладке всех СД. Она позволяет определить условия регулирования возбуждения двигателя, выбрать пусковое положение реостата возбуждения, настроить автоматические регуляторы.

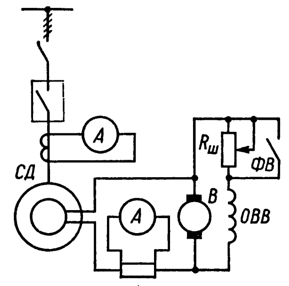


Рис. VII.8. Схема снятия U-образной характеристики СМ:

ФВ — форсировка возбуждения; $R_ш$ — шунтовой реостат.

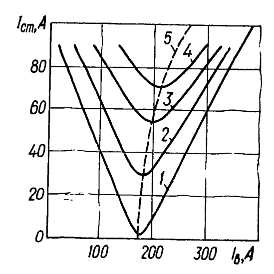


Рис. VII.9. U-образные характеристики СМ:

1 — при холостом ходе двигателя; *2—4* — при различных постоянных нагрузках; *5* — смещение характеристики при различных нагрузках.

Согласно ГОСТ 10169—77, для определения U-образной характеристики СМ подключают к сети или к отдельному генератору и дают ей возможность работать с номинальными напряжением и частотой в режиме двигателя или генератора (при наличии первичного двигателя). При испытании измеряют ток (напряжение,мощность и частоту тока) статора (якоря) и ток возбуждения (рис. VII.8).

Характеристику определяют как при недовозбуждении, так и при перевозбуждении. Желательно найти точки характеристики при минимальном токе статора, токе возбуждения, равном нулю (в режиме недовозбуждения), и токе статора, равном номинальному (в режиме перевозбуждения). При подключении машины к отдельному СГ мощность последнего должна быть не меньше 1,5 номинальной мощности испытываемой машины.

В режиме генератора U-образную характеристику снимают при наличии первичного двигателя и вспомогательной СМ, которую можно использовать в качестве двигателя от испытываемой машины. Мощность вспомогательной СМ должна быть не меньше 1,5 номинальной

мощности машины, для которой определяют U-образную характеристику.

Для получения характеристики СД при холостом ходе в ОВ подают наименьший ток, при котором двигатель не выпадает из синхронизма. При этом отсчитывают токи статора и возбуждения. Затем увеличивают ток возбуждения до тех пор, пока ток статора не уменьшится до нуля. В этой части характеристики (режим недовозбужденного двигателя) делают отсчеты в четырех или пяти точках. Дальнейшее увеличение тока возбуждения вызывает увеличение потребляемого тока из сети.

Последнюю точку U-образной кривой снимают при токе статора, превышающем номинальный на 10—20 %. Снимая часть характеристики, соответствующую перевозбуждению двигателя, отсчеты делают также в четырех-пяти точках.

Аналогичным образом получают U-образные кривые для активной мощности на валу двигателя, составляющей $^1/_3$, $^2/_3$ полной мощности либо равной ей. Точки перегиба характеристик соответствуют работе двигателя с $\cos\varphi = 1$.

На рис. VII.9 показаны U-образные характеристики СД. U-образные характеристики, снятые при неизменной мощности на валу, но при различных значениях напряжения статора, смещены друг относительно друга по оси абсцисс. При наладке чаще всего ограничиваются U-образной характеристикой при холостом ходе.

В отдельных случаях определяют только одно значение тока возбуждения в режиме ненагруженного перевозбужденного двигателя при номинальных напряжении и токе статора и $\cos\varphi = 0$.

Регулировочные характеристики

Регулировочная характеристика СМ представляет собой зависимость $I_в = f(I_{ст})$ при $U = \text{const}$, $\cos\varphi = \text{const}$.

Характеристики, в частности, дают возможность установить, как регулировать при переменной нагрузке ток возбуждения от $I_{в.х.х}$ до $I_{в.ном}$ для поддержания номинального значения напряжения на зажимах СМ.

На рис. VII.10 показаны примерные регулировочные характеристики ТГ при различных значениях $\cos\varphi$.

Согласно ГОСТ 10169—77, регулировочную характеристику определяют непосредственно при испытании или графически. Для определения регулировочной характеристики методом непосредственной нагрузки СМ присоединяют к сети неизменного напряжения и дают ей возможность работать в режиме генератора, синхронного компенсатора или двигателя (в зависимости от основного назначения). Для получения регулировочной характеристики генератора и синхронного компенсатора может быть использована также регулируемая нагрузка.

Во время испытания в цепи статора (якоря) измеряют напряжение, ток, мощность, коэффициент мощности, частоту, а в цепи возбуждения — ток. Один из отсчетов делают при токе статора (якоря), близком к номинальному.

При графическом определении регулировочной характеристики используют х.х.х., характеристику трехфазного короткого замыкания и расчетное индуктивное сопротивление $x_р$. Расчетные точки для построения регулировочной характеристики получают при трех-четырех значениях тока статора для заданных значений $\cos\varphi$ и напряжения $U_{ном}$.

На рис. VII.11 показано, как определяют одну из точек регулировочной характеристики при номинальном значении тока статора $I_{ном}$. Аналогично определяют точки регулировочной характеристики при значениях тока статора 1/4, 1/2 и 3/4 $I_{ном}$.

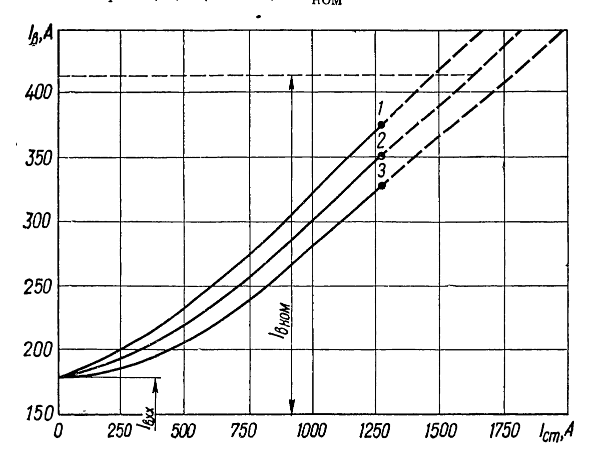


Рис. VII.10. Регулировочные характеристики ТГ:
1 — cos φ = 0,7; *2* — cos φ = 0,8; *3* — cos φ = 0,9.

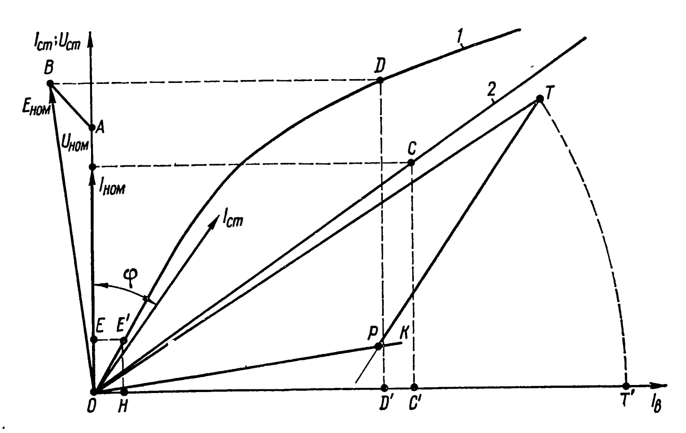


Рис. VII.11. Диаграмма ЭМДС синхронного генератора и схема определения одной из точек регулировочной характеристики:
1 — х. х. х.; *2* — х. к. з.

Точку регулировочной характеристики для номинального тока статора при заданных cos φ и напряжении определяют следующим образом. По оси ординат откладывают вектор напряжения $U_{ном}$ (OA), а под

фазовым углом, отложенным по часовой стрелке, к вектору напряжения — вектор тока статора $I_{ст}$. Затем перпендикулярно вектору тока статора из вершины вектора $U_{ном}$ проводят вектор падения напряжения в индуктивном сопротивлении рассеяния (AB). Индуктивное сопротивление рассеяния $x_р$ может быть принято равным примерно 0,9 — 0,95 сверхпереходного реактанса по продольной оси или определено графическим путем.

Отрезок падения напряжения AB равен произведению тока статора $I_{ном}$ на расчетное индуктивное сопротивление $x_р$. Прямая OB, соединяющая конец вектора падения напряжения AB с началом координат, является вектором ЭДС обмотки статора $E_{ном}$. Через вершину этого вектора (точку B) проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с х. х. х. (точка D). Из точки D на ось абсцисс опускают перпендикуляр DD'. После этого из начала координат проводят прямую OK, перпендикулярную вектору ЭДС $E_{ном}$ (прямая OB). На этой прямой находят точку P, такую, чтобы $OP = OD'$. По оси ординат от ее начала откладывают значение тока статора $I_{ном}$; через полученную точку проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с характеристикой трехфазного короткого замыкания (точка C). Из точки C опускают перпендикуляр CC' на ось абсцисс. По оси ординат откладывают отрезок $OE = AB$. Через точку E проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с х. х. х. Из полученной точки E' на ось абсцисс опускают перпендикуляр $E'H$. Через точку P проводят прямую, параллельную вектору тока статора $I_{ст}$, от точки P откладывают отрезок $PT = HC'$. Точку T соединяют с началом координат. На оси абсцисс откладывают отрезок $OT' = OT$, который соответствует току возбуждения $I_в$ при номинальном токе статора и заданных значениях $\cos\varphi$ и U.

Регулировочные характеристики строят для нескольких значений коэффициента мощности.

Испытания синхронных машин на нагрев

Общие положения по этому испытанию для всех ЭМ, данные об изоляционных материалах, применяемых в них, методы измерения температур изложены в гл. V.

Предельно допустимые превышения температуры частей СМ определены ГОСТ 183—74 (см. табл. V.4 и табл. VII.10).

При приемосдаточных испытаниях синхронных генераторов и компенсаторов испытания на нагрев выполняют путем непосредственной нагрузки, составляющей 60, 75, 90 и 100 % номинальной. Для проведения испытаний в установившемся тепловом режиме 5—6 ч поддерживаются неизменными токи статора и ротора и температура охлаждающей среды.

При испытаниях лабораторными и щитовыми приборами измеряют: 1) напряжение и ток статора, активную и реактивную мощность, частоту, напряжение и ток ротора; 2) температуру обмотки и стали статора (по заводским термодетекторам); 3) температуру обмотки ротора (по изменению сопротивления ее постоянному току); 4) температуры входящего и выходящего газа (измерения проводятся в нескольких точках термометрами или термодетекторами); 5) температуру входящей и выходящей охлаждающей воды (термометрами).

Таблица VII.10. **Предельно допустимые превышения температуры частей СМ, °С**

Части машины	Мощность машины	Температура охлаждающего воздуха, °С		
		40	30	20
Турбогенераторы				
обмотка статора	⩽ 12 000 кВт	65	75	85
	> 12 000 кВт	65	75	75
» ротора	⩽ 12 000 кВт	90	100	110
	> 12 000 кВт	90	100	100
активная сталь	⩽ 12 000 кВт	65	75	85
	> 12 000 кВт	65	75	75
Синхронные компенсаторы				
обмотка статора	5 000—30 000 кВ · А	65	—	—
» ротора	5 000—30 000 кВ · А	90	—	—
Обмотка статора гидрогенератора	1 000 кВ · А и больше	—	70 (при температуре воздуха 35 °С)	

Примечания. 1. Если температура размягчения пропиточного состава выше 105 °С, то допустимое превышение температуры обмотки статора и активной стали повышается. 2. Если для турбогенераторов применяется изоляция более теплостойкая, чем класса *В*, то допустимое превышение температуры устанавливается ТУ.

По результатам измерений строятся зависимости превышения температур обмоток и стали над температурой холодного газа от квадрата тока статора и ротора (рис. VII.12). По кривым превышения температур определяются перегревы, соответствующие номинальным токам статора и ротора, и допустимые нагрузки статора и ротора при различных эксплуатационных температурах охлаждающей среды, при которых температуры частей испытываемой машины не превосходят значений, допускаемых ГОСТами.

Результаты первых тепловых испытаний используются для оценки состояния СМ и ее системы охлаждения при повторных тепловых испытаниях в процессе эксплуатации.

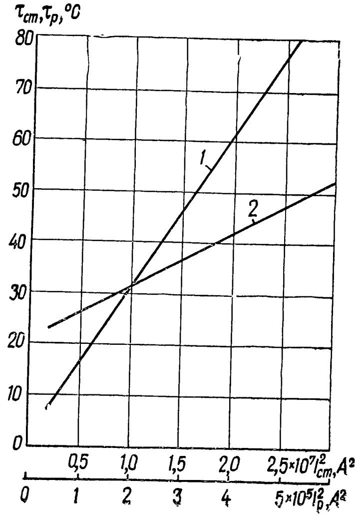


Рис. VII.12. Зависимость превышения температуры обмоток генератора над температурой входящего воздуха:

1 — от квадрата тока возбуждения — для обмотки ротора; *2* — от квадрата тока статора — для обмотки статора.

Определение активных и индуктивных сопротивлений и постоянных времени синхронных машин

Активные и индуктивные сверхпереходные сопротивления и сопротивления обратной последовательности фаз

При пусконаладочных испытаниях активные и индуктивные сверхпереходные сопротивления определяются стационарным методом при однофазном питании пониженным напряжением переменного тока попарно всех фаз обмотки статора (рис. VII.13).

Напряжение переменного тока подается или от понижающего трансформатора (12—60 В) или от сети (220—380 В). При этом измеряют токи, напряжения и активные мощности (I_{AB}, I_{BC}, I_{AC}, U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}, P_{AB}, P_{BC}, P_{AC}). Чтобы исключить влияние сопротивления подводящих проводов и переходных контактов, вольтметр и цепи напряжения ваттметра присоединяют отдельными проводниками к выводам машины. Обмотку ротора замыкают накоротко и измеряют в ней ток. Ожидаемые ток и мощность, потребляемые при опыте, определяются следующим образом:

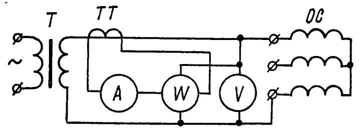


Рис. VII.13. Схема включения приборов при определении сверхпереходных активных и индуктивных сопротивлений СМ

$$I = \frac{US_{\text{ном}}}{2\ 0{,}15U^2_{\text{ном}}}\ [\text{А}],$$

$$P = UI\cos\varphi_{\text{к}}\ [\text{Вт}],$$

где U — напряжение источника питания, В; $U_{\text{ном}}$ — номинальное линейное напряжение СМ, кВ; $S_{\text{ном}}$ — номинальная мощность СМ, МВ · А; $\cos\varphi_{\text{к}}$ — коэффициент мощности, принимаемый в пределах 0,2 — 0,4.

На основе проведенных измерений определяют полные, индуктивные и активные сопротивления, отнесенные к одной фазе обмотки:

$$Z_{AB} = \frac{U_{AB}}{2I_{AB}},\ Z_{BC} = \frac{U_{BC}}{2I_{BC}},\ Z_{AC} = \frac{U_{AC}}{2I_{AC}}\ [\text{Ом}];$$

$$R_{AB} = \frac{P_{AB}}{2I^2_{AB}},\ R_{BC} = \frac{P_{BC}}{2I^2_{BC}},\ R_{AC} = \frac{P_{AC}}{2I^2_{AC}}\ [\text{Ом}];$$

$$x_{AB} = \sqrt{Z^2_{AB} - R^2_{AB}},\ x_{BC} = \sqrt{Z^2_{BC} - R^2_{BC}},$$

$$x_{AC} = \sqrt{Z^2_{AC} - R^2_{AC}}\ [\text{Ом}].$$

Затем вычисляют средние значения сопротивления (Ом):
полного

$$Z_{\text{ср}} = \frac{Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{AC}}{3};$$

индуктивного

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_{AB} + x_{BC} + x_{AC}}{3};$$

активного

$$R_{ср} = \frac{R_{AB} + R_{BC} + R_{AC}}{3}.$$

Активные сопротивления по продольной и поперечной осям:

$$R''_d = R_{ср} - \Delta R,$$
$$R''_q = R_{ср} + \Delta R,$$

где $\Delta R = 0{,}667\sqrt{R_{AB}(R_{AB}-R_{BC})+R_{BC}(R_{BC}-R_{AC})+R_{AC}(R_{AC}-R_{AB})}$.

Приведенное к статору среднее активное сопротивление ротора $R_{р.\,ср}$ и активные сопротивления ротора по продольной $R''_{р\,d}$ и поперечной $R''_{р\,q}$ осям при частоте тока в роторе 50 Гц определяют по формулам

$$R_{р.ср} = R_{ср} - R_{ст},$$
$$R''_{р\,d} = R''_d - R_{ст},$$
$$R''_{р\,q} = R''_q - R_{ст},$$

где $R_{ст}$ принимается равным $(2 \div 3)\,R$ для генераторов, имеющих непрерывную изоляцию обмотки статора, и $(4 \div 5)\,R$ для генераторов, имеющих гильзовую изоляцию; R — сопротивление одной фазы ОС постоянному току.

Активные сопротивления статора $R_{ст}$ можно определить, зная потери в статоре генератора при номинальном токе в режиме трехфазного короткого замыкания $P_{к.\,з}$:

$$R_{ст} = \frac{P_{к.з}}{3I^2_{ном}}.$$

Активное сопротивление обратной последовательности ротора $R_р$ и генератора в целом R_2:

$$R_р = \sqrt{2}\,R_{р.ср},$$
$$R_2 = R_{ст} + \sqrt{2}\,R_{р.ср}.$$

Сверхпереходные реактивные сопротивления по продольной и поперечной осям:

$$x''_d = x_{ср} \mp \Delta x,$$
$$x''_q = x_{ср} \pm \Delta x,$$

где $\Delta x = 0{,}667\sqrt{x_{AB}(x_{AB}-x_{BC})+x_{BC}(x_{BC}-x_{AC})+x_{AC}(x_{AC}-x_{AB})}$.

Знак перед Δx определяют следующим образом: $x''_d < x''_q$, если наибольшему измеренному сопротивлению на одной из пар линейных выводов ОС соответствует минимальный из трех токов в цепи возбуждения; $x''_d > x''_q$, если наибольшему измеренному индуктивному сопротивлению статора соответствует максимальный из трех токов в цепи возбуждения.

Индуктивное сопротивление выражается формулой

$$x = \frac{P_{ном} x_{\Omega}}{U^2_{ном}}\,100\ [\%],$$

где $P_{ном}$ — номинальная мощность машины, МВ · А; $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, кВ; $x_{Ω}$ — индуктивное сопротивление, Ом.

При известных значениях сверхпереходных индуктивных сопротивлений по продольной и поперечной осям (x''_d и x''_q) индуктивное сопротивление обратной последовательности, согласно ГОСТ 10169—77, может быть определено по выражению

$$x_2 = \frac{x''_d + x''_q}{2}.$$

Для явнополюсных машин лучше пользоваться выражением

$$x_2 = \sqrt{x''_d x''_q}.$$

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности

ГОСТ 10169—77 рекомендует определять сопротивление нулевой последовательности при однофазном питании ОС (якоря) машины, вращающейся с номинальной (или близкой к номинальной) частотой. При этом все три фазы ОС соединяют последовательно (в разомкнутый треугольник). Обмотку возбуждения замыкают накоротко.

Если число выводов ОС (якоря) меньше шести, то индуктивное сопротивление нулевой последовательности x_0 можно определять при параллельном соединении фаз обмотки. Подводимое напряжение выбирают так, чтобы ток в обмотке не был больше номинального.

Индуктивное сопротивление нулевой последовательности вычисляют (без учета активного сопротивления нулевой последовательности) по таким формулам:

последовательное соединение фаз обмоток

$$x_0 = \frac{U_п}{3I_{п.т}};$$

параллельное соединение фаз обмоток

$$x_0 = \frac{3U_п}{I_{п.т}},$$

где $U_п$ — подведенное напряжение, В; $I_{п.т}$ — потребляемый ток, А. Предпочтение отдается определению x_0 при последовательном соединении обмоток всех фаз. Значение x_0 можно также определить методом замыкания двух фаз на нейтраль обмотки статора (ГОСТ 10169—77) в режиме установившегося короткого замыкания.

Синхронные индуктивные сопротивления

Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси x_d предпочтительно определять по х.х.х. и х.к.з. как частное от деления напряжения холостого хода, взятого по продолжению прямолинейной части х.х.х. при некотором возбуждении, на ток симметричного короткого замыкания, взятый по х.к.з. при том же токе возбуждения. Если характеристики построены в относительных единицах, то все индуктивные сопротивления выражаются в относительных единицах. Опре-

деленное таким образом значение x_d соответствует ненасыщенному состоянию машины.

Согласно рис. VII.14, синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси

$$x_d = \frac{AC}{CE}.$$

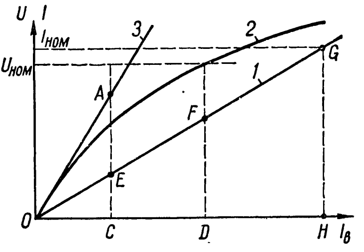


Рис. VII.14. Определение синхронного индуктивного сопротивления:

1 — х. к. з.; 2 — х. х. х.; 3 — спрямленная х. х. х.

По характеристикам, приведенным на рис. VII.14, определяют также отношение короткого замыкания (ОКЗ) путем деления установившегося тока симметричного короткого замыкания при возбуждении, соответствующем номинальному напряжению по х.х.х., FD на номинальный ток статора GH:

$$\text{ОКЗ} = \frac{FD}{GH}.$$

Синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси x_q предпочтительно определять методом отрицательного возбуждения при работе испытываемой машины параллельно с сетью без активной нагрузки. Ток возбуждения сначала уменьшают до нуля, изменяют его полярность, а затем постепенно увеличивают до тех пор, пока машина не перейдет в асинхронный режим. При этом синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси

$$x_q = x_d \frac{U_1}{U_1 + U_{х.х}},$$

где $U_{х.х}$ — напряжение холостого хода, определяемое по спрямленной х. х. х., проведенной через точку, соответствующую напряжению U_1 в момент нарушения синхронизма при токе возбуждения $I_{в.к.з}$; x_d — синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси, определенное по той же спрямленной х. х. х. (рис. VII.15).

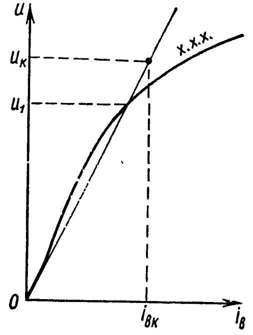


Рис. VII.15. Определение синхронного индуктивного сопротивления по поперечной оси методом отрицательного возбуждения.

Если напряжение при испытании соответствует номинальному, значение x_q может быть определено как отношение напряжения к току статора (якоря), соответствующему максимальному отрицательному возбуждению, при котором возможна устойчивая работа машины. Из этого опыта получают насыщенное значение x_q.

При известных синхронном индуктивном сопротивлении x_d, переходных постоянных времени по продольной оси при разомкнутой T'_{d_0} и замкнутой T'_d обмотке статора (якоря) может быть вычислено переходное индуктивное сопротивление по продольной оси:

$$x'_d = x_d \frac{T'_d}{T'_{d_0}}.$$

Расчетное индуктивное сопротивление

Значение расчетного индуктивного сопротивления $x_р$ определяют графически по х.х.х. и х.к.з., а также по точке нагрузочной характеристики, соответствующей номинальным значениям напряжения и тока статора (якоря) с коэффициентом мощности, равным нулю при перевозбуждении (точка A на рис. VII.16). Все построения целесообразно проводить в относительных единицах. Влево от точки A параллельно оси абсцисс откладывают отрезок $AB = OG$, причем OG соответствует току возбуждения $I_{в.к.з}$ при номинальном токе статора (якоря) по х. к. з. Из точки B проводят прямую, параллельную начальной части х. х. х., до пересечения с х. х. х. в точке C, из которой на линию AB опускают перпендикуляр. Тогда

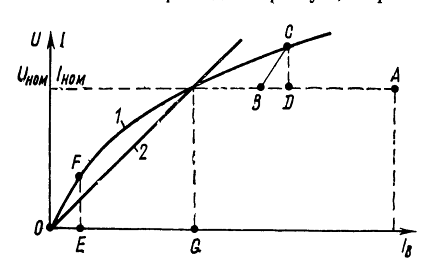


Рис. VII.16. Определение расчетного индуктивного сопротивления:
1 — х. к. к.; *2* — к. к. з.

$$x_р = \frac{CD}{I_{ном}},$$

где CD — отрезок, характеризующий падение напряжения на расчетном реактивном сопротивлении при номинальном токе статора.

Если точка нагрузочной характеристики, соответствующая номинальным значениям напряжения и тока статора (якоря) с коэффициентом мощности, равным нулю при перевозбуждении, не может быть определена опытным путем, то по х.к.з. определяют ток возбуждения $I_{в.к.з}$, соответствующий номинальному току статора (якоря). Вычисляют составляющую тока возбуждения $I_я$, компенсирующую реакцию якоря при номинальном токе. Разность $I_{в.к.з} - I_я$ откладывают по оси абсцисс от начала координат (отрезок OE на рис. VII.16). Из точки E восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой *1*. Тогда

$$x_р = \frac{EF}{I_{ном}}.$$

Постоянные времени СМ

При пусконаладочных испытаниях СГ определяются постоянные времени успокоительного контура и контура возбуждения по продольной оси. Для определения постоянных времени контура возбуждения и успокоительного контура по продольной оси расчетно-экспериментальным методом проводят четыре следующих опыта гашения поля: 1) при холостом ходе с номинальным напряжением и внезапном коротком замыкании ОВ; 2) при холостом ходе с номинальным напряжением и внезапном замыкании ОВ на сопротивление гашения поля; 3) при коротком замыкании с номинальным током и внезапном коротком замыкании ОВ; 4) при коротком замыкании с номинальным током и замыкании ОВ на сопротивление гашения поля.

В первых двух опытах осциллографируют затухание напряжения статора (якоря) и определяют переходную постоянную времени по продольной оси при разомкнутой обмотке статора (якоря) T'_{d_0} (из первого

опыта) и постоянную времени гашения поля при разомкнутой обмотке статора (якоря) T'_{rd_0} (из второго опыта).

В третьем и четвертом опытах осциллографируют затухание тока статора (якоря) и определяют переходную постоянную времени по продольной оси при замкнутой накоротко ОС T'_d (из третьего опыта) и постоянную времени гашения поля при замкнутой накоротко ОС T'_{rd} (из четвертого опыта).

Переходная постоянная времени по продольной оси при разомкнутой ОС T'_{d_0} и постоянная времени гашения поля при разомкнутой обмотке статора T'_{rd_0} определяются по осциллограммам как время, в течение которого напряжение статора с учетом остаточного напряжения, т. е. величина $(U_{\text{ном}} - U_{\text{ост}})$, затухает до 0,368 своего первоначального значения.

Переходная постоянная времени по продольной оси при замкнутой обмотке статора T'_d и постоянная времени гашения поля T'_{rd} при замкнутой обмотке статора определяются по осциллограммам как время, в течение которого ток статора затухает до 0,368 своего первоначального значения $I_{\text{ном}}$. При осциллографировании измеряется также напряжение и ток ротора.

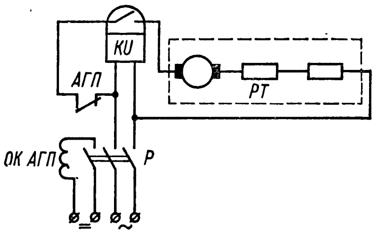


Рис. VII.17. Схема измерения постоянных времени T'_{rd_0} и T'_{d_0}.

По полученным из опытов значениям T'_{d_0} и T'_{rd_0} и кратности сопротивления гашения поля a могут быть определены постоянная времени контура возбуждения $T_{\text{в}\,d_0}$ и постоянная времени успокоительного контура по продольной оси T_{1d_0} при разомкнутой обмотке статора

$$T_{\text{в}\,d_0} \approx \frac{a+1}{a}\left(T'_{d_0} - T'_{rd_0}\right),$$

$$T_{1d_0} \approx T'_{rd_0} - \frac{T'_{d_0} - T'_{rd_0}}{a}.$$

Эти выражения даны без учета сверхпереходных постоянных времени по продольной оси.

Кратность сопротивления гашения поля

$$a = \frac{R_{\text{г}}}{R_{\text{в}}},$$

где $R_{\text{г}}$ — сопротивление гашения поля; $R_{\text{в}}$ — сопротивление постоянному току обмотки возбуждения СМ.

По аналогичным формулам вычисляют постоянные времени контура возбуждения $T_{\text{в}\,d}$ и успокоительного контура по продольной оси T_{1d} при замкнутой накоротко обмотке статора. Постоянные времени T'_{d_0}, T'_{rd_0}, T'_d и T'_{rd} могут быть также определены с помощью реле напряжения (тока) и электрического секундомера (рис. VII.17).

Для определения значения T'_{rd_0} включением рубильника P отключают автомат гашения поля генератора, работающего на холостом ходу с номинальным напряжением статора и номинальной частотой.

Напряжение возврата реле напряжения устанавливается выражением

$$U_р = 0,368\,(U_{нач} - U_{ост}) + U_{ост},$$

где $U_{нач}$ — напряжение статора генератора до начала гашения поля; $U_{ост}$ — остаточное напряжение по окончании процесса гашения поля.

По показаниям секундомера определяют время

$$t = T'_{rd_0} + t_{р.н},$$

где $t_{р.н}$ — собственное время возврата реле напряжения.

Постоянную времени T'_{d_0} определяют аналогичным образом при гашении поля замыканием обмотки возбуждения СМ накоротко (с зашунтированным сопротивлением гашения).

Скорость нарастания напряжения машинного возбудителя

Скорость нарастания напряжения машинных возбудителей СМ определяют на холостом ходу с номинальной частотой. При номинальном напряжении возбуждения СМ шунтируют все сопротивления в цепи возбуждения возбудителя, кроме невыключаемых сопротивлений, предназначенных для ограничения потолочного напряжения, если таковые имеются.

Нарастание напряжения возбудителя до потолочного значения записывают на осциллограмму, по которой определяют время t_1, в течение которого напряжение на возбудителе возрастает от $U_{ном}$ до U':

$$U' = U_{ном} + 0,632\,(U_п - U_{ном}),$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение возбуждения СМ; $U_п$ — потолочное напряжение возбудителя. Скорость нарастания напряжения возбудителя

$$V = \frac{0,632\,(U_п - U_{ном})}{U_{ном} t_1}.$$

В табл. VII.11 приведены значения скорости нарастания напряжения машинных возбудителей СМ.

Таблица VII.11. **Скорости нарастания напряжения машинных возбудителей СМ**

Синхронные машины	Относительная скорость нарастания напряжения при холостом ходе возбудителя в долях номинального напряжения возбуждения, с$^{-1}$	Отношение верхнего предела напряжения возбудителя к номинальному напряжению возбуждения
Синхронные генераторы	$\geqslant 0,8$	1,4—1,8
Компенсаторы	$\geqslant 2$	$\geqslant 2$
Турбогенераторы	2	2
Гидрогенераторы мощностью, кВт		
до 4 000 включительно	$\geqslant 1,3$	1,8
больше 4 000	$\geqslant 1,5$	1,8

Наладка системы возбуждения

Рассмотрим системы возбуждения с машинным возбудителем, применяемые на генераторах небольших и средних мощностей.

В программу наладки входят: 1) прозвонка и испытание изоляции цепей возбуждения; 2) проверка и испытание реостатов возбуждения и гасительных сопротивлений; 3) проверка и наладка автоматов гашения поля; 4) проверка измерительных приборов; 5) опробование и проверка системы возбуждения на вращающемся генераторе.

Прозвонка и испытание изоляции цепей возбуждения не имеют существенных отличий от таких же операций в других цепях. Допустимые значения сопротивления изоляции и испытательных напряжений цепей возбуждения см. в табл. VII.3.

Проверка измерительных приборов (амперметра возбуждения) проводится с учетом сопротивления соединительных проводов, составляющего значительную часть общего сопротивления цепи прибора.

Проверка и испытания реостатов возбуждения и гасительных сопротивлений

Проверяется состояние механической части реостата и надежность его контактных соединений, изоляции; значения испытательных напряжений см. в табл. VII.3. Измеряется сопротивление постоянному току гасительных сопротивлений и реостата возбуждения на каждой ступени (результаты измерений не должны отличаться от заводских данных более чем на 10 %). Проверяется соответствие реостата возбуждения возбудителю.

Номинальный ток реостата, указанный в паспорте, должен быть не менее максимального тока возбуждения возбудителя, а общее сопротивление постоянному току реостата должно быть больше сопротивления обмотки возбуждения возбудителя в 15—20 раз.

Значение гасительного сопротивления ротора СГ: $R_г = (4 \div 5)\ R_р$, а значение гасительного сопротивления возбудителя: $R_{г.в} = 10\,R_{ОВ}$, где $R_р$ и $R_{ОВ}$ — сопротивления обмотки ротора и обмотки возбуждения возбудителя в горячем состоянии.

Разрядное сопротивление обмотки ротора синхронного двигателя принимается равным 10-кратному сопротивлению обмотки ротора.

Проверка и наладка автоматов гашения поля

В объем наладки автомата гашения поля (АГП) завода ХЭМЗ входит ревизия, испытание и наладка привода и аппаратуры управления, проверка и регулировка главных и блокировочных контактов, испытание изоляции автомата, измерение сопротивления постоянному току и минимального напряжения срабатывания катушек автомата, измерение времени включения и отключения АГП, проверка взаимодействия элементов схемы дистанционного управления, сигнализации и защиты при $U_{ном}$ и 0,8 $U_{ном}$ оперативного тока.

Значение испытательного напряжения изоляции см. в табл. VII.3. Значение сопротивления изоляции отдельных элементов АГП вместе с цепями возбуждения должно составлять не менее 1 МОм (см. табл. VII.2).

Последовательность работы главных контактов АГП проверяется по схеме, приведенной на рис. VII.18, при отсоединенных кабелях возбудителя и ротора. При многократных включениях и отключениях АГП неоновая лампа, используемая в качестве индикатора, не должна гаснуть, если последовательность действия контактов правильная (при отключении АГП сначала замыкаются нормально замкнутые контакты, затем размыкаются нормально разомкнутые; при включении сначала замыкаются нормально разомкнутые контакты, затем размыкаются нормально замкнутые). Применять вместо неоновой лампу накаливания или стрелочный прибор не следует, так как они могут не среагировать на кратковременное размыкание цепи при неправильной последовательности действия контактов АГП.

Сопротивление главных контактов, измеренное микроомметром или двойным мостом (см. гл. II), не должно превышать 50 мкОм.

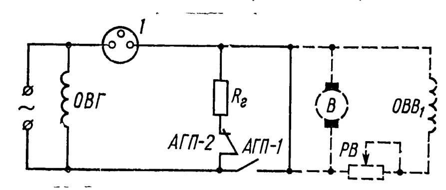


Рис. VII.18. Схема проверки последовательности работы контактов автомата гашения поля.

Определение времени включения и отключения АГП проводится по схемам, приведенным в гл. XII.

Наладка АГП, предназначенных для гашения поля ротора без использования специальных гасительных сопротивлений (за счет рассеяния запасенной в роторе энергии в электрической дуге, возникающей при размыкании цепи ротора главными контактами автомата), рассматривается на примере автомата АГП-1. При наладке автоматов типа АГП-1 выполняются следующие работы.

1. Проверка соответствия АГП номинальному току ротора генератора.

2. Проверка правильности сборки дугогасительной решетки. Для этого ее частично разбирают (в последовательности, изложенной в заводской инструкции) и проверяют пробником, нет лы замыкания между пластинами решетки; устанавливают соответствие общего числа промежутков и шунтирующих сопротивлений номинальному току и напряжению ротора генератора; проверяют правильность установки катушек радиального дутья (их поля направлены навстречу друг другу, а направление выреза соответствует направлению вращательного движения дуги в камере).

3. Проверка очередности работы главных и дугогасительных контактов. Для этого следует снять камеру «поперечного дутья» или отвести назад каретку с контактной системой (чтобы получить доступ к дугогасительным контактам) и медленно включить и отключить АГП штурвалом ручного управления. Следует убедиться, что первыми при включении замыкаются дугогасительные контакты, а при отключении первыми размыкаются главные контакты. Фиксирование работы главных контактов может производиться пробником, но для этого нужно между дугогасительными контактами прокладывать изоляционную пластину.

4. Проверка правильности регулировки дугогасительных контактов. При этом следует убедиться, что: а) указательный штифт дугогасительных контактов, контролирующий степень их износа, выступает над латунной скобкой не менее чем на 6 мм; б) раствор дугогасительных контактов в положении «отключено» составляет не менее 40 мм; в) свободный ход дугогасительного контакта в районе контактной напайки при разомкнутом автомате должен быть не более 4 мм.

5. Измерение переходного сопротивления контактов двойным мостом или микроомметром. Сопротивление должно быть не более 20 мкОм.

6. Проверка после установки камеры поперечного дутья направления магнитного поля в зазоре камеры. Для этого в зазор вводится проволока и по ней от батарейки пропускается ток той же полярности, что и ток нагрузки («+» должен быть снизу камеры). Проводник с током должен выталкиваться в сторону дугогасительной решетки.

7. Измерения веберметром напряженности магнитного поля в зазоре у входа в дугогасительную решетку. Напряженность поля должна быть не менее $28 \cdot 10^3$ А/м.

8. После полной сборки автомата измерение сопротивлений, включенных параллельно части пластин секций дугогасительной решетки, и выполнение перечисленных выше проверок и испытаний.

Опробование и проверка системы возбуждения на вращающейся СМ

После проверки элементов системы возбуждения проводится опробование ее на вращающейся машине.

У синхронных компенсаторов и электродвигателей, которые возбуждаются от отдельно стоящих машинных возбудителей, первое опробование выполняется включением приводного двигателя возбудителя при полностью введенном шунтовом реостате и вынутых щетках ротора. При проверке системы возбуждения синхронных двигателей и компенсаторов необходимо иметь в виду, что пуск их сопряжен с опасностью появления чрезмерных перенапряжений на обмотке ротора (при пуске с разомкнутой обмоткой ротора или при неправильной последовательности действия контактов АГП) или нагревания пусковой клетки сверх допустимых пределов при нескольких пусках подряд или при затянувшемся асинхронном режиме с нагрузкой на валу двигателя. У турбогенераторов, возбуждение которых осуществляется от возбудителей, установленных на одном валу с генератором, систему возбуждения следует опробовать при пониженной скорости в процессе разворота турбины.

Способы снятия характеристик возбудителя, определения постоянных времени, измерения скорости нарастания напряжения возбудителя рассмотрены выше.

Измерение вибрации СМ

Наибольшие допустимые значения вибрации (удвоенной амплитуды колебаний) подшипников СГ и СК измеряются в трех направлениях (у гидрогенераторов вертикального исполнения измеряется вибрация крестовины с встроенными в нее направляющими подшипниками).

Предельные значения вибрации подшипников (крестовины) генератора и возбудителя приведены в табл. VII.12. Предельные значения вибрации подшипников синхронных двигателей приведены в гл. VIII. Сведения об измерении вибрации см. в гл. V.

Проверка фазировки генераторов с сетью и синхронизационных устройств

Включение синхронного генератора на параллельную работу с сетью, на которую работают другие генераторы, является сложной и ответственной операцией. Включение генератора на параллельную

Таблица VII.12. **Предельные значения вибрации СГ и их возбудителей**

Испытываемый элемент	Вибрация, мкм, при номинальной частоте вращения, об/мин					
	до 100	до 187,5	до 375	до 750	1500	3000
Подшипники ТГ и возбудителей, крестовина ГГ со встроенными в нее направляющими подшипниками	180	150	100	70	50	30
Контактные кольца роторов ТГ	—	—	—	—	—	200
Сердечник статора ГГ	30	30	30	30		

работу методом **точной синхронизации** возможно только при следующих условиях: 1) равенство эффективных значений напряжений (допустимое расхождение около 5 %); 2) равенство частот напряжений (допустимое расхождение около 0,1 %); 3) совпадение фаз напряжений.

Выравнивание напряжений достигается регулятором возбуждения, выравнивание частот — воздействием на двигатель регулятора скорости турбины. Момент совпадения фаз напряжений определяют по синхроноскопу. Импульс на включение выключателя при синхронизации должен быть дан до подхода стрелки синхроноскопа к синхронному положению с учетом собственного времени включения выключателя.

В программу наладки устройств синхронизации входят следующие операции:

1. Проверка принципиальных и монтажных схем.
2. Проверка цепей напряжения и оперативных цепей синхронизации (в том числе и шинок) и испытание их изоляции.
3. Проверка приборов колонки синхронизации.
4. Проверка и настройка реле блокировки от несинхронных включений.
5. Опробование всей схемы рабочим напряжением с проверкой работы устройства при синхронном и несинхронном напряжении.

Проверка схем, проверка цепей и испытание их изоляции не имеют каких-либо особенностей.

Вольтметры и частотомеры колонки синхронизации проверяют в том же объеме, что и другие щитовые приборы. Особенность проверки лишь та, что эти приборы проверяют попарно, с тем чтобы показания приборов, предназначенных для сравнения параметров генератора и сети, были одинаковыми.

Для проверки синхроноскопа к его трехфазной обмотке нужно подвести трехфазное напряжение 100 В. С помощью фазоуказателя или другого аналогичного прибора нужно убедиться, что напряжение, обозначенное буквами a — b — c, действительно имеет прямое чередование фаз. Затем нужно соединить свободный вывод однофазной обмотки синхроноскопа a с выводом a трехфазной обмотки. При этом стрелка синхроноскопа должна стать против красной черты прибора, что соответствует точной синхронизации. Если подключить конец однофазной обмотки к фазе c, то стрелка синхроноскопа повернется влево на 60°.

При наличии фазорегулятора рекомендуется подать на однофазную обмотку напряжение 100 В от фазорегулятора и, сделав полное изменение фазы в одну, а затем в другую сторону, убедиться, что стрелка синхроноскопа плавно следует за изменением фазы фазорегулятора.

Опробование всей схемы рабочим напряжением выполняется одновременно с проверкой совпадения чередования фаз генератора и сети следующим образом. На трансформатор напряжения одной из выделенных для проверки систем шин подается напряжение поочередно от сети и от испытываемого генератора; в обоих случаях по подключенному к трансформатору напряжения фазоуказателю проверяется чередование фаз. При подаче на выделенную систему шин напряжения испытываемого генератора одновременно с проверкой его чередования фаз включается колонка синхронизации и проверяется по показаниям приборов колонки равенство напряжений, частот и положение стрелки синхроноскопа, которое должно соответствовать синхронизму. (Проверка синхронизационных устройств синхронным рабочим напряжением может быть также выполнена подачей напряжения сети на трансформатор напряжения генератора.)

Для проверки синхронизационного устройства на несинхронном напряжении на колонку синхронизации подается напряжение от сети и от испытываемого генератора. Изменением возбуждения генератора и скорости вращения турбины проверяют соответствие показаний приборов изменяемым параметрам генератора; направление и скорость вращения стрелки синхроноскопа должны соответствовать знаку и величине разности частот генератора и сети.

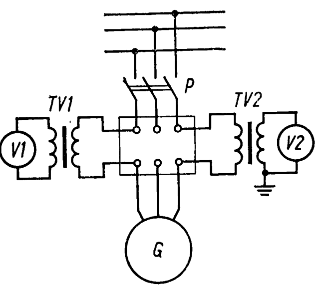


Рис. VII.19. Схема проверки устройства синхронизации с помощью выносных трансформаторов напряжения.

В случаях, когда для проверки не может быть выделена система или секция шин с шинным трансформатором напряжения, фазировку генератора с сетью и проверку синхронизационного устройства можно выполнить с помощью двух отдельно устанавливаемых однофазных трансформаторов напряжения, включаемых, как указано на рис. VII.19. Ко вторичным обмоткам трансформаторов напряжения подсоединяются вольтметры (или лампы), выбранные на двойное напряжение и размещаемые рядом с проверяемым синхронизационным устройством. Если показания обоих вольтметров изменяются синхронно (лампы загораются и тухнут одновременно), чередование фаз генератора и сети совпадает. Момент прохождения стрелки синхроноскопа через нулевую черту должен совпадать с моментом прохождения стрелок обоих вольтметров через нулевое значение, а максимальные показания вольтметров (яркое горение ламп) — соответствовать моменту прохождения стрелки синхроноскопа через положение 180°.

Включение генератора на параллельную работу можно выполнить также **способом самосинхронизации**. Самосинхронизация не требует точной подгонки напряжения, частоты и фазы, так как генератор включается в сеть без возбуждения. Возбуждение подается после включения в сеть, при этом генератор втягивается в синхронную работу с сетью.

Условия включения генератора в сеть при самосинхронизации следующие.

1. Частота вращения генератора должна быть близкой к синхронной. Отклонение возможно не более, чем на 2—3 %. Допустимая разность частот сети и генератора 1,5 Гц. Для аварийных режимов в энергосистеме это значение устанавливается в зависимости от типа генератора и мощности энергосистемы.

2. Генератор включается в сеть в невозбужденном состоянии с обмоткой ротора, замкнутой на гасительное сопротивление или на якорь возбудителя. Включение генератора с разомкнутой обмоткой ротора недопустимо. Перед включением генератора реостат возбуждения возбудителя (и подвозбудителя) должен находиться в рабочем положении. Реостат автоматического регулятора возбуждения (АРВ) устанавливается в положение, соответствующее 20—40 % номинальной нагрузки генератора.

Устройство форсировки возбуждения, компаундирования или автоматический регулятор напряжения (АРН) необходимо включить перед включением генератора или одновременно с ним.

Испытание турбогенератора в асинхронном режиме

Работа турбогенератора в асинхронном режиме, т. е. работа при потере возбуждения, допустима только для ТГ с массивными роторами и стальными бандажами. Для ТГ с наборными роторами и проволочными бандажами, а также для ГГ асинхронный режим недопустим. Испытаниями устанавливается максимально допустимая нагрузка в этом режиме.

Испытание выполняется в следующем порядке. Записывают показания всех приборов ТГ, работающего параллельно с сетью, при неизменной нагрузке. Отключают автомат гашения поля (АГП), и ТГ переходит в асинхронный режим работы. Записываются показания всех приборов при работе в этом режиме. Включается АГП, генератор втягивается в синхронизм. После восстановления синхронного режима вновь записываются показания всех приборов.

Испытания выполняются без воздействия на серводвигатель турбины и при неизменном положении реостата возбудителя.

Для контроля скольжения устанавливается вольтметр, которым измеряют напряжение на кольцах ротора. Скольжение определяется по числу полных колебаний стрелки этого вольтметра или стрелки амперметра в цепи статора:

$$s = \frac{N_р \cdot 100}{tf} = \frac{2N_р}{t} [\%]$$

или

$$s = \frac{N_{ст} \cdot 100}{2tf} = \frac{N_{ст}}{t} [\%],$$

где f — частота сети (50 Гц), $N_р$ и $N_{ст}$ — число полных колебаний стрелок приборов в цепи соответственно ротора и статора за время t. Число колебаний стрелки амперметра в цепи статора в два раза больше числа колебаний стрелки вольтметра ротора.

В асинхронном режиме ТГ испытывают при трех нагрузках: $0{,}5\,P_{ном}$; $0{,}7\,P_{ном}$ и $(0{,}8 \div 1{,}0)\,P_{ном}$. Продолжительность работы в асинхронном режиме при этих испытаниях, как правило, не превышает 2 мин. Она определяется временем, необходимым для записи показаний приборов. В течение этого времени допускается перегрузка по току статора.

АРН на испытываемой машине во время испытания отключается; на остальных работающих машинах регуляторы должны быть включены. При испытаниях необходимо следить за тем, чтобы напряжение

снижалось в допустимых пределах. Допустимая нагрузка генератора в асинхронном режиме на основании результатов испытаний определяется из следующих условий.

1. Ток статора не должен превышать указанных ниже значений.

Кратность тока по отношению к номинальному току ТГ	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,4	1,5	2
Продолжительность работы в асинхронном режиме, мин	60	15	6	5	4	3	2	1

2. Потери в роторе, обусловленные скольжением, не должны превышать потери на возбуждение при номинальном режиме:

$$P_{\text{р}} = 0{,}01 P_2 S \text{ [кВт]},$$

где P_2 — мощность, отдаваемая генератором в сеть, кВт; S — скольжение, %.

Испытание активной стали статора на нагрев

Активная сталь испытывается на нагрев переменным магнитным потоком в спинке статора СМ. Испытания производятся при выведенном роторе.

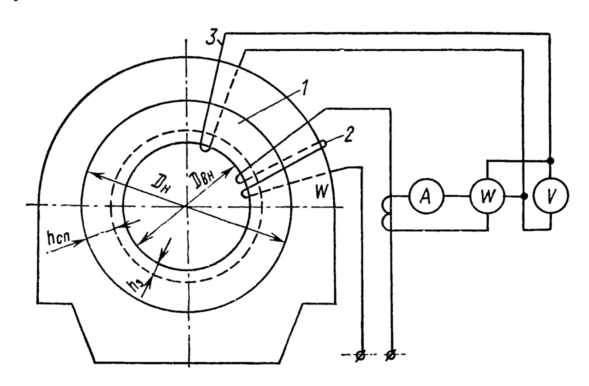


Рис. VII.20. Схема испытания на нагрев активной стали статора СМ:

1 — активная сталь статора; *2* — намагничивающая обмотка; *3* — контрольная обмотка.

Магнитный поток создается намагничивающей обмоткой, которая наматывается через расточку статора (рис. VII.20). Число витков намагничивающей обмотки

$$W_1 = \frac{U}{4{,}44 f q B} 10^4,$$

где U — действующее значение напряжения намагничивающей обмотки, В; B — индукция, Т; q — поперечное сечение спинки статора, см^2; f — частота подводимого напряжения, Гц.

Испытание следует проводить при магнитной индукции в спинке статора $B = 1$ Т и $f = 50$ Гц. Тогда

$$W_1 = \frac{45U}{q}.$$

Поперечное сечение спинки статора

$$q = (l - nb_s)\, h_{сп} k_{ст} \ [см^2],$$

где n — число вентиляционных каналов; b_s — ширина вентиляционного канала, см; l — длина спинки статора, см; $h_{сп}$ — высота спинки статора, см; $k_{ст}$ — коэффициент заполнения активной стали (табл. VII.13).

Таблица VII.13. **Коэффициент заполнения активной стали**

Вид изоляции листов стали статора	Коэффициент заполнения стали при толщине, мм	
	0,5	0,35
Оклейка бумагой	0,89	0,85
Лакировка	0,91	0,87

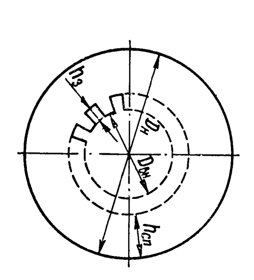
Высота спинки статора

$$h_{сп} = \frac{D_н - D_в}{2} - h_з,$$

где $D_н$ и $D_в$ — соответственно наружный и внутренний диаметры активной стали статора, см; $h_з$ — высота зуба или глубина паза, см (рис. VII.21).

Если в спинке статора имеются отверстия диаметром $d_{отв}$ для стяжных болтов, то

$$h_{сп} = \frac{D_н - D_в}{2} - h_з - d_{отв}.$$



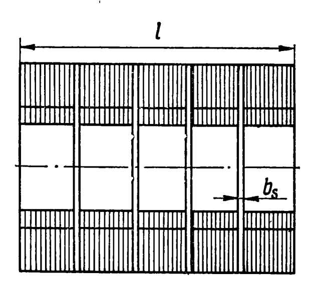


Рис. VII.21. Активная сталь статора СМ.

Повысив напряжение источника питания намагничивающей обмотки, можно увеличить число ее витков и таким образом приблизить условия испытания к расчетным. Для создания в спинке статора индукции $B = 1$ Т необходим ток намагничивающей обмотки

$$I_{ном} = \frac{3{,}3\,(D_н - h_{сп})\, aw}{W_1},$$

где aw — удельные ампер-витки (для высоколегированной стали марок Э3, Э4 $aw = 2 \div 2{,}5$ Ав/см).

На расстоянии четверти длины окружности от намагничивающей обмотки на статор накладывается контрольная обмотка, которая слу-

жит для определения магнитного потока в спинке статора. Число витков контрольной обмотки

$$W_2 = W_1 \frac{U_2}{U_1},$$

где U_2— желательное напряжение на зажимах контрольной обмотки. Значение напряжения U_2 выбирается из условий удобного отсчета показаний по шкале вольтметра.

Кажущаяся (S) и активная (P) мощности источника питания вычисляются по формулам

$$S = \frac{UI}{1000}\ [\text{кВ} \cdot \text{А}],$$

$$P = \rho g\ [\text{кВт}],$$

где ρ — удельные потери в активной стали для данного значения индукции, Вт/кг, g — масса активной стали без зубцового слоя, $g = 24{,}5 D_0 q 10^{-3}$ [кг], D_0— средний диаметр активной стали статора, см.

Значения основных параметров для расчета намагничивающей обмотки ТГ завода «Электросила»:

B, Т	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0
ρ, Вт/кг	0,55	0,72	1,08	1,41	2,2

Перед началом испытания проверяют напряжение на зажимах контрольной обмотки путем пробного включения намагничивающей обмотки. После 10-минутного испытания снимают напряжение и проверяют наощупь нагрев стали по всей расточке статора. В наиболее холодные зубцы закладывают термопары или термометры и включают напряжение. Через 10 мин вновь снимают напряжение и наощупь определяют температуру зубцов. Термопары или термометры устанавливают в зубцах с повышенным нагревом. Остальные термопары и термометры располагают равномерно по расточке и длине статора. Затем опять включают напряжение и в течение 90 мин прогревают сталь статора. Показания термометров записывают через каждые 10 мин.

Если по окончании прогрева максимальный перегрев, максимальная разность перегревов между отдельными зубцами и удельные потери не превышают соответственно 45 °С, 25 °С и 2,5 Вт/кг, то состояние активной стали статора считается удовлетворительным. Если значение индукции в спинке статора B не равно 1 Т, то можно привести потери активной мощности к индукции, равной 1 Т, использовав формулу

$$P_1 = P_{\text{оп}} \left(\frac{1}{B_{\text{оп}}} \right)^2,$$

где $P_{\text{оп}}$ и $B_{\text{оп}}$ — опытные значения активной мощности и индукции.

Удельные потери определяют из выражения

$$\Delta P = \frac{P_1}{g}\ [\text{Вт/кг}],$$

где P_1— потери активной мощности, приведенные к индукции 1 Т, Вт; g — масса активной стали статора, кг.

При повышении температуры какой-либо точки активной стали статора до 100 °С, а также при появлении дыма (искр) в намагничивающей обмотке или в статоре испытания следует немедленно прекратить Корпус и обмотку статора при испытаниях необходимо надежно заземлять.

Глава VIII

АСИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Объем и нормы испытаний

Вводимые в эксплуатацию двигатели переменного тока необходимо подвергать приемосдаточным испытаниям, согласно ПУЭ, в следующем объеме.

1. Определение возможности включения электродвигателей напряжением выше 1000 В без сушки.

2. Измерение сопротивления изоляции: а) обмотки статора электродвигателя напряжением до 1000 В мегомметром на напряжение 1000 В (R_{60} должно быть не менее 0,5 МОм при 10—30 °С); б) обмотки ротора электродвигателей с фазовым ротором мегомметром на напряжение 500 В (сопротивление изоляции должно быть не менее 0,2 МОм); в) термодетекторов мегомметром на напряжение 250 В (сопротивление изоляции не нормируется); г) подшипников синхронных электродвигателей напряжением выше 1000 В (сопротивление изоляции не нормируется).

Сопротивление изоляции обмоток электродвигателей напряжением выше 1000 В нормируется инструкцией СН 241—63 (гл. V).

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты.

4. Измерение сопротивления постоянному току: а) обмоток статора и ротора электродвигателей мощностью 300 кВт и более (разница между измеренными сопротивлениями обмоток различных фаз или между измеренными и заводскими данными допускается не более 2 %); б) у реостатов и пускорегулировочных сопротивлений измеряется общее сопротивление и проверяется целость отпаек. Разница между измеренным сопротивлением и паспортными данными допускается не более 10 %.

5. Измерение зазоров между сталью ротора и статора. Разница между воздушными зазорами в диаметрально противоположных точках или точках, сдвинутых относительно оси ротора на 90°, и средним воздушным зазором допускается не более 10 %.

6. Измерение зазоров в подшипниках скольжения. Предельные значения зазоров в подшипниках скольжения электродвигателей приведены в табл. V.5.

7. Измерение вибрации подшипников электродвигателя.

Допустимые амплитуды вибрации подшипников электродвигателей:

Синхронная частота вращения, об/мин	3000	1500	1000	750 и ниже
Допустимая амплитуда вибрации подшипника, мкм	50	100	130	160

8. Измерение разбега ротора в осевом направлении для электродвигателей, имеющих подшипники скольжения (допустимо значение разбега 2—4 мм).

9. Испытание воздухоохладителя гидравлическим давлением 0,2—0,25 МПа (2—2,5 кгс/см²). Продолжительность испытания 10 мин.

10. Проверка работы электродвигателя на холостом ходу или с ненагруженным механизмом. Значение тока холостого хода электродвигателя не нормируется. Продолжительность проверки не менее 1 ч.

11. Проверка работы электродвигателя под нагрузкой. Производится при мощности, потребляемой электродвигателем из сети, обеспечиваемой технологическим оборудованием к моменту сдачи в эксплуатацию. При этом для электродвигателей с регулируемой частотой вращения определяются пределы регулирования.

Электродвигатели напряжением до 1000 В испытываются по пп. 2, 4 б, 10, 11; напряжением выше 1000 В — по пп. 1—4, 7, 9—11. Электродвигатели, поступающие на монтаж в разобранном виде, испытываются по пп. 5, 6, 8 дополнительно.

Методика испытаний по пп. 1—7 рассмотрена в гл. V.

При наладке электродвигателей часто возникает необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Внешний осмотр

Основные указания по осмотру ЭМ приведены в гл. V и VII.

У машин с фазовым ротором при внешнем осмотре проверяют состояние колец (нет ли выбоин, глубоких царапин, пятен коррозии), тип щеток и их состояние (табл. VIII. 1), действие механизма, замыкающего кольца накоротко (убеждаются, что усилие при подъеме щеток невелико, опущенные щетки достаточно сильно прижимаются к поверхности колец, крайние положения четко фиксируются, контакты, замыкающие кольца, смазаны тонким слоем вазелина).

Таблица VIII.1. **Характеристика электрощеток АД**

Вид щеток	Условия работы			Рекомендуемые марки	
	Плотность тока, А см²	Линейная скорость, м/с	Удельное нажатие, гс/см²	Основные	Дополнительные
Поднимающиеся	20	15	180—230	Бронзографитные, МГС	—
	20	20	170—220	—	Бронзографитные, БГ
	20	20	180—230	—	Меднографитные, МГ
	15	20	200—250	—	То же, МГ-4
Постоянно налегающие	20	15	180—230	Бронзографитные, МГС	—
	15	20	200—250	То же, МГ-4	—
	12	40	150—200	Электрографитированные, ЭГ-4	—
	15	25	150—200	Меднографитные, М-1	Меднографитные, М-6
	10—11	25	200—250	—	Графитные, Г-3

Проверка правильности маркировки выводов и полярности обмоток

Обозначение выводов

Предусмотренные ГОСТ 183—74 обозначения выводов ЭМ переменного тока приведены в гл. VII.

Обычно выводы всех фаз ОС присоединяют к зажимам, как указано на рис. VIII.1, *а*. В некоторых машинах ОС наглухо соединены в звезду и на доску зажимов выведены только четыре вывода: фазы *С1*, *С2*, *С3* и нулевая точка 0.

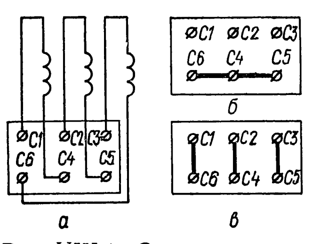


Рис. VIII.1. Схемы соединения ОС с выводными зажимами (*а*), включением в звезду (*б*) и в треугольник (*в*).

Если маркировки выводов обмоток нет, то ее определяют индуктивным методом на постоянном или переменном токе. Маркировку выводов обмоток крупных машин рекомендуется проверять даже при наличии заводских данных. Предварительно находят парные выводы фазы с помощью контрольной лампы, пробника или мегомметра. На каждый вывод фазы надевают бирку с маркировкой фаз.

Полярность выводов проверяют постоянным или переменным током. При постоянном токе возможны два варианта.

1. Маркировку выводов проверяют или определяют с помощью аккумулятора (или сухого элемента) и вольтметра. Батарею включают импульсом на одну из фаз (рис. VIII.2,*а*), к другим фазам поочередно присоединяют вольтметр. Пересоединяя выводы, подбирают такое включение вольтметра, при котором в момент подачи напряжения от батареи стрелка прибора отклоняется вправо. В этом положении к «+» батареи и «—» вольтметра подключены начала фазных обмоток. Для контроля батарею следует перенести на другую фазу и повторить опыт.

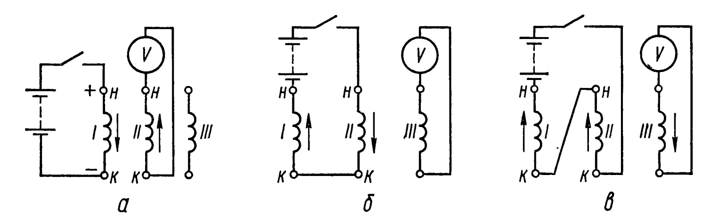


Рис. VIII.2. Схемы проверки маркировки выводов статора с помощью источника постоянного тока (*Н* и *К* — соответственно начала и концы обмоток *I*, *II*, *III*).

2. Две фазы соединяют последовательно (попарно) между собой и импульсами включают на батарею. К третьей фазе присоединяют вольтметр. Если первые две фазы соединены одноименными зажимами (рис. VIII.2,*б*), вольтметр не реагирует на включение батареи импульсом. При соединении фаз разноименными зажимами (рис. VIII.2,*в*) в момент включения и отключения батареи стрелка вольтметра отклоняется.

Если полярность выводов проверяют напряжением переменного тока, то при одинарных обмотках в каждой фазе статора две произвольные фазы соединяют последовательно и включают на пониженное напряжение сети переменного тока. К третьей, свободной, фазе подключают вольтметр переменного тока или лампу.

Если первые две фазы соединены одноименными выводами (рис. VIII.3,*а*), то вольтметр (лампа) не покажет напряжения на третьей фазе. При соединении двух фаз разноименными зажимами (рис. VIII.3,*б*) вольтметр (лампа) показывает напряжение. Аналогично маркируют

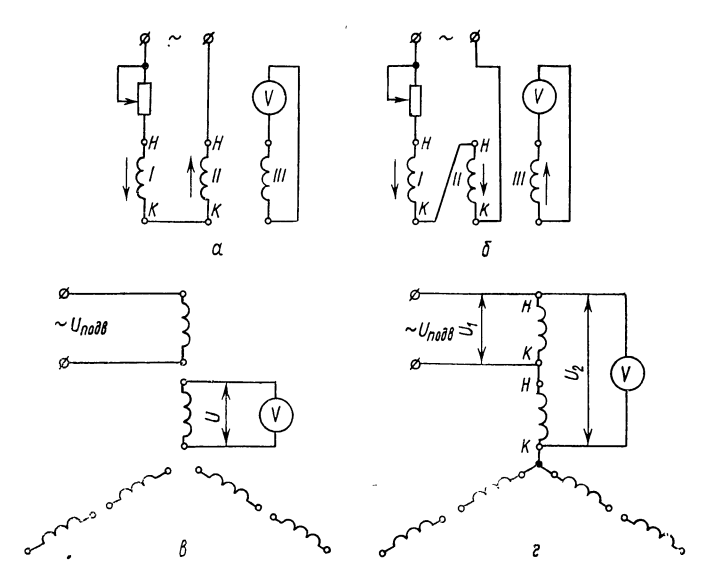


Рис. VIII.3. Схемы проверки маркировки выводов статора с помощью источника переменного тока:

а — подключение питания к началу двух обмоток; *б* — подключение питания к началу одной обмотки и концу другой; *в* — проверка соединений составных частей обмотки; *г* — определение полярности составных частей обмотки; $U_{подв}$ — подведенное напряжение.

выводы третьей фазы. Соединение отдельных частей составной обмотки проверяют на переменном токе с помощью вольтметра (рис. VIII.3,*в*). Подавая переменный ток в одну часть обмотки, определяют другую часть обмотки этой фазы по наибольшему из измеренных напряжений. Аналогично проверяют остальные фазы. Полярность составных частей обмотки определяют по схеме, указанной на рис. VIII.3,*г*.

В случае соединения разноименных выводов частей обмотки, принадлежащих одной фазе, значение напряжения U_2, измеренного вольтметром, близко к нулю. Аналогично проверяют полярность остальных частей обмотки.

Соединение ОС двигателя с фазным ротором может быть проверено следующим образом. В ротор подают трехфазное симметричное напряжение, не превышающее номинальное напряжение ротора, и измеряют напряжение статора. При правильном соединении ОС напряжение на его выводах симметрично. Если же переключением выводов ОС

симметрии достигнуть не удается, значит, перевернута одна или несколько катушек ОС или фаза ОР.

Количество полюсов обмотки статора можно определить так К выводам статора подключается гальванометр постоянного тока. При проворачивании вручную ротора машины под действием его остаточного магнетизма в обмотке статора появляется ЭДС, вызывающая периодическое отклонение стрелки гальванометра. Число отклонений стрелки в каждую сторону соответствует числу полюсов ротора одной полярности, прощедших линию данной фазы статора. Во избежание ошибки следует произвести несколько оборотов и подсчитать число отклонений стрелки прибора в одну сторону. Число пар полюсов машины $p = a/n$, где a — число отклонений стрелки прибора в одну сторону; n — число произведенных оборотов.

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Методика испытаний приведена в гл. III, V. Значения испытательных напряжений приведены в табл. VIII.2. Продолжительность испытания 1 мин.

Таблица VIII.2. **Значения испытательного напряжения промышленной частоты для электродвигателей переменного тока**

Испытательный объект	Характеристика электродвигателя	Испытательное напряжение, В
Обмотка статора	Электродвигатель мощностью до 1000 кВт на номинальное напряжение выше 1000 В	$1{,}6\ U_{ном} + 800$
	Мощность выше 1000 кВт, номинальное напряжение до 3300 В	$1{,}6U_{ном} + 800$
	То же, на номинальное напряжение выше 3300 до 6600 В	$2U_{ном}$
	То же, на номинальное напряжение выше 6600 В	$1{,}6U_{ном} + 2400$
Обмотка фазного ротора асинхронного двигателя		1000
Реостаты и пускорегулировочные сопротивления		1000

Определение направления вращения ротора электродвигателя

Для обеспечения правильного направления вращения двигателя необходимо, чтобы фазировка питающего кабеля была согласована с маркировкой выводов статора. Чередование фаз проверяют фазоука-

зателем, если же его нет, то пробным включением небольшого АД с проверенной маркировкой выводов статора. При проверке фазировки сети высокого напряжения фазоуказатель включают через трехфазный трансформатор напряжения.

Если стандартной маркировки выводов статора нет или она вызывает сомнение, то направление вращения можно определить одним из следующих способов. На обмотки АД высокого напряжения с короткозамкнутым ротором подается пониженное напряжение на статор и резко поворачивается ротор (вручную с помощью лома или краном). Двигатели с напряжением статора 6—10 кВ удобно подключать к сети 380 В. Если амперметры в цепи статора во время толчка ротора в сторону требуемого направления вращения покажут уменьшение тока, значит чередование фаз источника питания правильное. Определив фазоуказателем чередование фаз подведенного к двигателю напряжения 380 В, с помощью трансформатора напряжения подбирают такое же чередование фаз питающей сети высокого напряжения.

В обмотку ротора АД высокого напряжения подают постоянный ток и поворачивают ротор в требуемом направлении. Ток ротора при испытании может составлять 5—10 % номинального; к статору присоединяют указатель чередования фаз, который начинает работать во время толчка ротора. Отметив выводы статора по маркировке фазоуказателя, этим же прибором с помощью трансформатора напряжения следует проверить чередование фаз питающего кабеля, после чего необходимо подключить кабель к соответствующим по маркировке выводам статора.

Описанный выше метод можно применять и к двигателям низкого напряжения, но при этом для повышения напряжения на зажимах фазоуказателя его подключают к выводам статора через два трансформатора (220/12 В).

В практике пусконаладочных работ направление вращения ротора, как правило, определяется кратковременным включением двигателя в сеть.

Проверка симметричности обмотки короткозамкнутого ротора

Если в короткозамкнутом роторе имеется несимметричность (например, разрыв стержней, короткое замыкание колец и т.д.), обнаружить это можно следующим образом. К ОС подают трехфазное напряжение, настолько пониженное, что ток короткого замыкания не может вызвать быстрого повышения ее температуры, ротор же медленно поворачивают вручную. При исправной обмотке ротора такое поворачивание не влияет на показания амперметров, включенных в цепь статора. Если же цепь обмотки ротора неисправна, то стрелки амперметров, показания которых должны быть одинаковыми, дают поочередные отклонения, тем более заметные, чем больше эта неисправность.

В двигателях с двойными короткозамкнутыми обмотками нижняя (рабочая) обмотка почти не участвует в электромагнитных процессах короткого замыкания. Это следует учитывать при испытаниях таких двигателей, и все нарушения симметричности относить за счет верхней (пусковой) обмотки. Нижнюю обмотку проверяют под нагрузкой, при которой обнаруживается колебание стрелок амперметров в такт с удвоенным скольжением и зачастую, особенно в больших быстроходных машинах,— периодическое изменение шума.

Опыт короткого замыкания асинхронного двигателя (АД)

Опыт короткого замыкания проводят для определения пускового тока и других параметров двигателя, а также направления вращения двигателя и исправности силовых цепей. Опыт короткого замыкания проводят при неподвижном роторе. Для двигателей с фазовым ротором обмотка ротора замыкается накоротко. В условиях пусконаладочных работ опыт, как правило, выполняется на пониженном напряжении. Опыт короткого замыкания можно проводить как при питании обмотки статора трехфазным током, так и при питании двух фаз обмотки статора однофазным током (рис. VIII.4). В этом случае опыт значительно упрощается и может быть выполнен при питании обмотки статора номинальным напряжением (кратковременно). Измерения проводятся для каждой пары обмоток статора. Для двигателей, имеющих контактные кольца, используется напряжение, не превышающее 50—60 % номинального. При проведении опыта производятся измерения токов статора, активной мощности потребляемой из сети, и линейного напряжения.

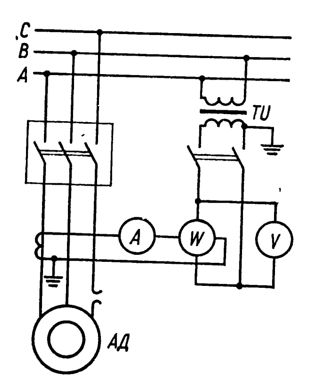


Рис. VIII.4. Схема проведения опыта однофазного короткого замыкания.

Данные, полученные из опыта короткого замыкания, позволяют определить ряд параметров двигателя.

Однофазная схема. Пусковой ток

$$I_п = \frac{2I_{оп}}{\sqrt{3}} \frac{U_{ном}}{U_{оп}} k_н,$$

где $I_{оп}$ — среднее значение тока трех измерений при опыте короткого замыкания (питание однофазным током), А; $U_{оп}$ — среднее значение напряжения трех измерений при опыте короткого замыкания, В; $U_{ном}$ — номинальное напряжение двигателя, В; $k_н$ — коэффициент, учитывающий насыщение зубцов (при напряжении ниже номинального $k_н = 1,3 \div 1,5$, если же напряжение близко к номинальному, то $k_н = 1$).

Суммарное активное приведенное сопротивление ротора и статора;

$$R_{к1-2} = \frac{P_{к1-2}}{2I^2_{оп1-2}}; \quad R_{к2-3} = \frac{P_{к2-3}}{2I^2_{оп2-3}}; \quad R_{к3-1} = \frac{P_{к3-1}}{2I^2_{оп3-1}}.$$

Здесь $P_{к1-2}$, $P_{к2-3}$, $P_{к3-1}$ — мощность короткого замыкания соответственно между фазами 1 и 2, 2 и 3, 3 и 1; $R_{к1-2}$, $R_{к2-3}$, $R_{к3-1}$, $I_{оп1-2}$, $I_{оп2-3}$, $I_{оп3-1}$ — соответственно сопротивления и токи опыта короткого замыкания названных фаз.

Активное приведенное сопротивление ротора

$$R'_{2к} = \frac{R_{к1-2} + R_{к2-3} + R_{к3-1}}{3} - kR_1 = R_к - kR_1,$$

где R_1 — измеренное сопротивление фазы статора; k — коэффициент,

учитывающий увеличение сопротивления вследствие вытеснения тока (обычно $k = 1{,}05$).

Полное сопротивление обмоток двигателя:

$$Z_к = \frac{1}{3}\left(\frac{U_{к1-2}}{2I_{оп1-2}} + \frac{U_{к2-3}}{2I_{оп2-3}} + \frac{U_{к3-1}}{2I_{оп3-1}}\right).$$

Здесь $U_{к\,1-2}$, $U_{к\,2-3}$, $U_{к\,3-1}$ — напряжение между фазами при проведе нии опыта.

Реактивное сопротивление обмоток двигателя:

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}.$$

Трехфазная схема. Пусковой ток при номинальном напряжении:

$$I_п = I_{оп}\frac{U_{ном}}{U_{оп}}.$$

Активное приведенное сопротивление ротора:

$$R'_{2к} = \frac{P_{к.з}}{3I_{оп}^2} - kR_1 = R_к - kR_1,$$

где $P_{к.з}$ — мощность, измеренная по схеме двух ваттметров.

Полное сопротивление двигателя:

$$Z_к = \frac{U_{к.з}}{\sqrt{3}\,I_{оп}}.$$

Реактивное сопротивление:

$$X_к = \sqrt{Z_к^2 - R_к^2}.$$

Отношение максимального момента к номинальному (приближенно):

$$\frac{M_{макс}}{M_{ном}} = \frac{U_{ном}^2}{2P_{2ном}(R_1 + X_к)},$$

где $P_{2\,ном}$ — номинальная полезная мощность двигателя, указываемая на его табличке.

Отношение начального или пускового момента к номинальному (приближенно):

$$\frac{M_{нач}}{M_{ном}} = \frac{3I_{оп}^2 R'_{2к}}{P_{2ном}}.$$

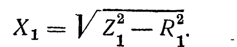
Критическое скольжение при максимальном моменте:

$$S = \frac{R'_{2к}}{\sqrt{R_1^2 + X_к^2}} \approx \frac{R'_{2к}}{X_к}.$$

Примечания. 1. Полное сопротивление первичной обмотки (статора):

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}.$$

Если двигатель имеет фазовый ротор, то индуктивные составляющие определяют по измеренному активному сопротивлению обмоток расчетным путем:



$$X_1 = \sqrt{Z_1^2 - R_1^2}.$$

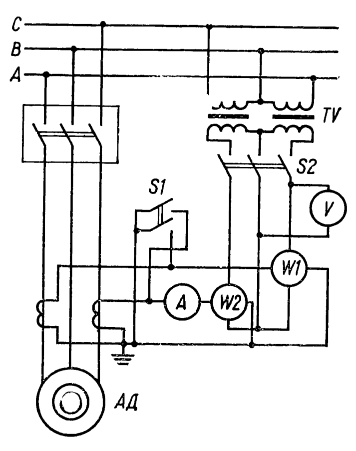


Рис. VIII.5. Схема проведения сокращенного опыта холостого хода.

2. Параметры вторичной обмотки (ротора) приводят к первичной обмотке по соотношениям

$$U_2' = k_т U_2;\ I_2' = \frac{I_2}{k_т};\ R_2' = k_т^2 R_2;\ X_2' = k_т^2 X_2,$$

где $k_т$— коэффициент трансформации обмоток статора и ротора.

Опыт холостого хода АД

При пусконаладочных и послеремонтных испытаниях опыт холостого хода, как правило, проводят в сокращенном объеме по упрощенной схеме (рис. VIII.5).

По измеренным значениям напряжения U_0, тока холостого хода I_0 и мощности холостого хода P_0 можно определить коэффициент мощности холостого хода:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}\, U_0 I_0}.$$

Потери холостого хода P_0 складываются из потерь в ОС от тока холостого хода $\Delta P_{0м}$, потерь в стали статора $\Delta P_{ст}$ и механических $\Delta P_{мех}$. Потери в ОС определяют по таким формулам:

для соединения обмоток в звезду

$$\Delta P_{0м} = 3 I_0^2 R_t;$$

для соединения обмоток в треугольник

$$\Delta P_{0м} = I_0^2 R_t,$$

где I_0— потребляемый ток холостого хода; R_t — сопротивление одной фазы статора при температуре проведения опыта.

Сумма потерь в стали и механических потерь:

$$\Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} = P_0 - \Delta P_{0м}.$$

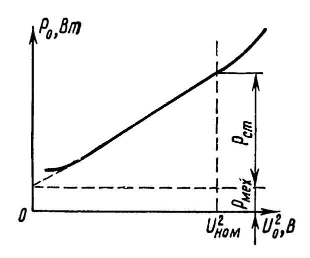


Рис. VIII.6. Зависимость суммы потерь в стали и механических потерь от квадрата напряжения.

Для отделения механических потерь от потерь в стали опыт необходимо провести при нескольких значениях подведенного к обмотке статора напряжения и построить кривую зависимости суммы потерь в стали и механических потерь от квадрата напряжения и экстраполи-

ровать ее до пересечения с осью ординат (рис. VIII.6). Отрезок, отсекаемый на оси ординат, представляет механические потери двигателя. Отделяя механические потери от потерь в стали, следует иметь в виду, что при очень низком напряжении потери могут увеличиваться, так что эту часть кривой не следует учитывать при построении.

До проведения опыта двигатель для обкатки подшипников должен проработать без нагрузки в течение 15—75 мин. Отклонение измеренных при проведении опыта значений от значений, полученных при предыдущих испытаниях, свидетельствует о неисправности двигателя.

В двигателях с фазовым ротором при опыте холостого хода реостат в цепи ротора должен быть полностью выведен.

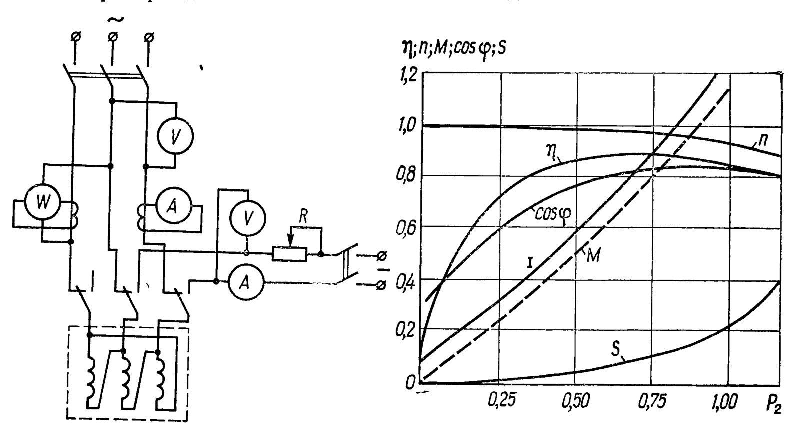


Рис. VIII.7. Схема включения приборов для снятия кривой превышения температур обмоток при нагрузке двигателя.

Рис. VIII.8. Рабочие характеристики АД.

Испытание АД на нагрев

Методика испытаний приведена в гл. V.

На рис. VIII.7 в качестве примера приведена схема включения приборов для испытания двигателя на нагрев в режиме непосредственной нагрузки. Контроль температуры обмоток в этой схеме осуществляется измерением омического сопротивления обмотки с помощью амперметра — вольтметра. В двигателях с фазовым ротором необходимо также контролировать температуру обмотки ротора.

Снятие рабочих характеристик АД

Под рабочими характеристиками понимают зависимость потребляемой мощности, тока, скольжения, КПД, момента и $\cos\varphi$ от полезной мощности при условии неизменности приложенного номинального напряжения и его частоты, т. е. $P_1 = f(P_2)$; $I = f(P_2)$; $S = f(P_2)$; $\eta = f(P_2)$; $M = f(P_2)$; $\cos\varphi = f(P_2)$.

Рабочие характеристики АД (рис. VIII.8) снимают при нескольких значениях нагрузки в пределах от перегрузки (не меньше 10 % номинальной) до холостого хода. Снимать рабочие характеристики следует

после испытания на нагрев, чтобы температура двигателя была близкой к его температуре при нормальной работе. Испытание следует проводить, переходя от более высоких нагрузок к более низким.

При испытании многоскоростных двигателей рабочие характеристики должны быть сняты для каждой номинальной частоты вращения.

При снятии рабочих характеристик приложенное линейное напряжение $U_{ном}$ следует измерять тремя вольтметрами или вольтметром с переключателем. В качестве действительного напряжения принимается среднее арифметическое трех измеренных значений:

$$U_{ном} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3}.$$

Действительный потребляемый линейный ток принимается как среднее арифметическое трех измеренных значений:

$$I = \frac{I_A + I_B + I_C}{3}.$$

Потребляемая двигателем мощность измеряется по схеме двух ваттметров (или одним трехфазным ваттметром):

$$P_1 = C_{вт} k_{т.т.} (a_1 + a_2),$$

где $C_{вт}$ — постоянная ваттметра; $k_{т.т}$ — коэффициент трансформации ТТ; $a_1 + a_2$ — алгебраическая сумма показаний ваттметров.

Методика обработки результатов измерений такова.

Коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}\, U_{ном} I}.$$

КПД находят косвенным методом отдельных потерь.

Механические потери двигателя $\Delta P_{мех}$ предполагаются постоянными, их определяют из опыта холостого хода методом разделения потерь. Так же получают потери в стали $\Delta P_{ст}$. Потери в обмотке статора рассчитывают по формулам:

при соединении в звезду

$$\Delta P_{м1} = 3 I_{н}^2 R_1,$$

при соединении в треугольник

$$\Delta P_{м1} = I_{н}^2 R_1,$$

где $I_{н}$ — ток нагрузки, R_1 — сопротивление одной фазы, приведенное к 75 °С.

Потери в обмотке ротора:

$$\Delta P_{м2} = \frac{P_{эм}}{100} S.$$

Здесь S — скольжение; $P_{эм} = P_1 - (\Delta P_{м1} + \Delta P_{ст})$ — электромагнитная мощность, т. е. мощность, передаваемая вращающимся полем со статора на ротор.

Вращающий момент:

$$M = \frac{P_{эм}}{\omega_1} = \frac{P_{эм}}{2\pi n_1},$$

где n_1 — синхронная частота вращения магнитного поля, об/мин.

Добавочные потери определяют условно; значение их принимают равным 0,5% потребляемой мощности:

$$\Delta P_д = 0{,}005 P_1.$$

Полезную мощность двигателя находят как разность между потребляемой мощностью и суммой всех указанных потерь:

$$P_2 = P_1 - \sum \Delta P = P_1 - (\Delta P_{м1} + \Delta P_{м2} + \Delta P_{ст} + \Delta P_{мех} + \Delta P_д).$$

Тогда КПД:

$$\eta = 100\left(1 - \frac{\sum \Delta P}{P_1}\right) [\%].$$

Определение скольжения АД

Если частота вращения двигателя значительно отличается от синхронной, ее измеряют тахометром, а скольжение определяют по формуле

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1},$$

где $n_1 = \frac{60}{p} f$ — синхронная частота вращения; n_2 — фактическая частота вращения.

Если скольжение не превышает 5 %, частота вращения может быть измерена стробоскопическим методом с применением неоновой лампы. На торце вала двигателя мелом наносят диаметральную черту. Во время работы двигателя ее освещают неоновой лампой, питаемой от сети той же частоты, что и двигатель. Наблюдатель видит на торце вала не черту, а звезду, медленно вращающуюся против направления вращения вала. Количество лучей звезды зависит от числа пар полюсов двигателя и от положения неоновой лампы. Если свет от обоих электродов лампы падает на торец вала, число лучей кажущейся звезды равно $2p$. Если же торец вала с нанесенной меловой чертой освещается только одним электродом, число лучей кажущейся звезды равно числу пар полюсов.

За время t (обычно 30 с), измеряемое секундомером, подсчитывается количество лучей кажущейся звезды m, прошедших через вертикальное положение. Поскольку число лучей кажущейся звезды равно $2p$, скольжение

$$S = \frac{m}{2 f_1 t} 100 [\%].$$

Если же число лучей кажущейся звезды равно p, то

$$S = \frac{m}{f_1 t} 100 [\%], \qquad \text{(VIII.1)}$$

где f_1 — частота сети, питающей неоновую лампу.

При $f_1 = 50$ Гц

$$S = \frac{m}{2f_1 t} 100 = \frac{m}{t}.$$

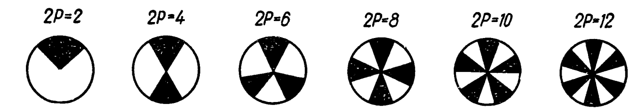


Рис. VIII.9. Изображение стробоскопических дисков в зависимости от количества пар полюсов АД.

Другой вариант стробоскопического метода заключается в следующем. На валу двигателя с торцовой стороны укрепляют один из дисков (рис. VIII.9). Собирают схему (рис. VIII.10). У двухполюсной машины на валу закрепляют диск, обозначенный как $2p = 2$, и освещают его неоновой лампой с пятачковым электродом.

Ротор вращается несинхронно и отстает от поля, так что диск виден медленно вращающимся в сторону, противоположную вращению ротора. Если за время t мимо неподвижной точки (стрелки, укрепленной на под-

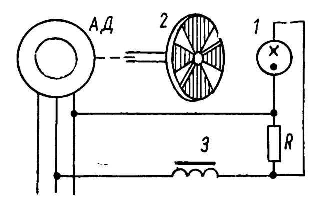


Рис. VIII.10. Схема включения неоновой лампы для стробоскопического метода определения скольжения:

1 — неоновая лампа; 2 — стробоскопический диск; 3 — индукционная катушка.

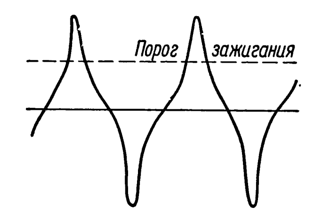


Рис. VIII.11. Схема включения неоновой лампы для получения острой формы кривой напряжения:

1 — неоновая лампа; 2 — реактивная катушка с сильно насыщенным магнитопроводом с индуктивным сопротивлением X (падения напряжения на сопротивлениях R и X примерно одинаковы).

шипнике) проходит m черных секторов, значение скольжения определяется по выражению (VIII.1). Счет проходящих мимо неподвижной точки секторов следует начинать не с момента пуска секундомера, а со следующего прохождения метки.

Для получения резкости изображения на лампу следует подавать напряжение, кривая изменения которого показана на рис. VIII.11. Лампа зажигается в тот момент, когда напряжение на ее зажимах достигает значения, называемого порогом зажигания.

Определение скольжения двигателя с помощью индукционной катушки. Этот метод основан на контроле частоты вращения потоков рассеивания ротора $\Phi_р$ (рис. VIII.12), которые с частотой, пропорциональной скольжению, пересекают витки индукционной катушки.

К выводам катушки подключают чувствительный милливольтметр (желательно с нулем посредине шкалы); катушку располагают у конца вала ротора. Поворачивая катушку в разные стороны, находят положение, при котором наблюдаются максимальные колебания стрелки прибора. По числу полных колебаний k за время t рассчитывают значение скольжения:

$$S = \frac{k}{tf} 100\ [\%],$$

при $f = 50$ Гц

$$S = \frac{2k}{t}\ [\%].$$

Для расчета удобно отсчитать 50 полных колебаний и по секундомеру отметить время. Тогда $S = \frac{2k}{t} = \frac{2 \cdot 50}{t} = \frac{100}{t} = \frac{1}{t} 100\ [\%]$.

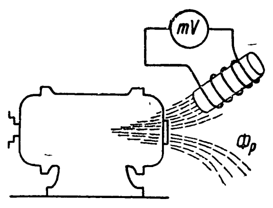


Рис. VIII.12. Схема измерения скольжения ротора АД с помощью индукционной катушки.

В качестве индукционной катушки можно использовать катушку реле или контактора постоянного тока, имеющую 10—20 тыс. витков (или намотать катушку с числом витков не менее 3000). Для усиления магнитного потока в катушку вставляют сердечник, набираемый из нескольких полос трансформаторной стали. Метод индукционной катушки весьма прост и пригоден для всех видов машин.

У двигателей с фазовым ротором, помимо описанных выше способов, скольжение может быть определено с помощью магнитоэлектрического амперметра, включаемого в одну из фаз ротора, а при наличии невыключаемого сопротивления в цепи ротора — с помощью вольтметра, присоединенного к кольцам ротора. Рекомендуется применять приборы с двусторонней шкалой. Скольжение рассчитывается по числу полных колебаний стрелки прибора, так же как при использовании метода с индукционной катушкой.

Определение коэффициента трансформации для электродвигателей с фазовым ротором

Для определения коэффициента трансформации к обмотке статора при разомкнутой обмотке ротора подводят напряжение и измеряют линейные напряжения на выводах обмотки статора и на кольцах ротора.

Коэффициент трансформации определяют по формуле

$$k_т = \frac{U_{ст}}{U_р},$$

где $U_{ст}$ и $U_р$ — фазовые напряжения обмоток статора и ротора.

Измерение проводят для трех фаз. Действительным значением коэффициента трансформации считают отношение фазовых напряжений статора и ротора, определенных по средним арифметическим значениям измеренных линейных напряжений.

Для электродвигателей напряжением до 660 В к обмотке статора подводят номинальное напряжение, для двигателей с напряжением выше 660 В коэффициент трансформации определяют при пониженном напряжении. Напряжение на разомкнутом роторе обычно на 3—5 % ниже значения, определяемого соотношением чисел витков обмоток, что обусловливается падением напряжения в обмотке статора и наличием потоков рассеяния.

Вращающий момент асинхронных двигателей

Вращающий момент АД можно определить по формуле

$$M = \frac{m_1 U_ф^2 \frac{R'_{2к}}{S}}{\omega_c \left[\left(R_1 + \frac{R'_{2к}}{S}\right)^2 + (X_1 + X'_2)^2\right]} \; [\text{Н} \cdot \text{м}]. \qquad (\text{VIII.2})$$

Здесь m_1 — число фаз статора; $U_ф$ — фазовое напряжение сети, В; $R'_{2к}$ — приведенное активное сопротивление всей цепи ротора (включая сопротивление реостата), Ом; X'_2 — приведенное реактивное сопротивление ро-

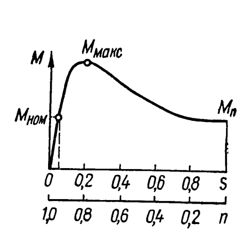


Рис. VIII.13. Зависимость момента АД от значения скольжения (от числа оборотов ротора).

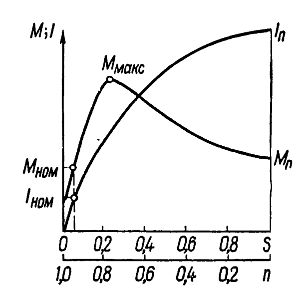


Рис. VIII.14. Зависимость электромагнитного момента и тока статора АД с короткозамкнутым ротором от частоты вращения ротора.

тора, Ом; R_1 и X_1 — соответственно активное и реактивное сопротивление статора, Ом; $\omega_c = \frac{2\pi n_c}{60}$ [рад/с]; S — скольжение,

$$S = \frac{n_c - n}{n_c}, \qquad (\text{VIII.3})$$

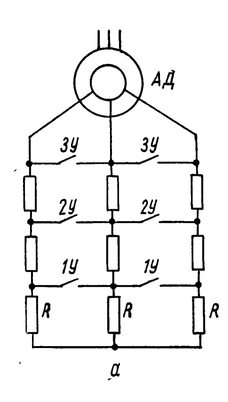
где n — частота вращения ротора; $n_c = \frac{60 f_1}{p}$ [об/мин] — синхронная частота вращения магнитного поля статора (p — число пар полюсов).

Из уравнения (VIII.2) следует, что при данном скольжении S или, что то же самое, при данной частоте вращения n двигателя момент M пропорционален квадрату напряжения U, приложенного к статору.

По уравнению (VIII.2) может быть рассчитана и построена зависимость $M = f(S)$ или, с учетом формулы (VIII.3),— механическая характеристика $n = f(M)$ (рис. VIII.13).

Зависимость электромагнитного момента и тока статора АД с короткозамкнутым ротором от частоты вращения последнего представлена на рис. VIII.14. У таких двигателей пусковой ток превышает номинальный в 4,5—7 раз; пусковой момент $M_п$ составляет $(1,1 \div 1,6)\, M_{ном}$, а $M_{макс} = (2 \div 3)\, M_{ном}$.

Асинхронные двигатели с фазовым ротором при пуске имеют характеристики электромагнитных моментов, соответствующие различным пусковым сопротивлениям (рис. VIII.15).



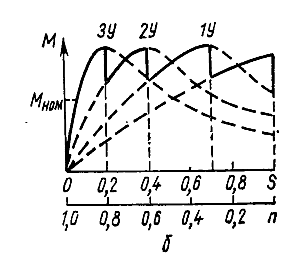


Рис. VIII.15. Схема пуска АД с фазовым ротором (*а*) и пусковая диаграмма (*б*).

Определение напряжения на выводах двигателя при пуске

Напряжение на выводах двигателя в начальный момент пуска с достаточной степенью точности может быть определено из выражения

$$U_д = \frac{Z_д}{Z_д + Z_с} 100\,[\%],$$

где $Z_д$ — полное сопротивление двигателя в начальный момент пуска; $Z_с$ — полное сопротивление сети.

Полное сопротивление двигателя находится из выражения

$$Z_д = \frac{U_{н.д}}{\sqrt{3}\, I_{н.д} k_п}\ [Ом],$$

где $U_{н.д}$ и $I_{н.д}$ — номинальные значения соответственно напряжения и тока двигателя; $k_п$ — кратность пускового тока.

Сопротивление сети $Z_с$ до выводов двигателя в общем случае может включать в себя сопротивления системы, линии, трансформатора, реактора. Сопротивления перечисленных элементов в омах можно определить следующим образом.

Сопротивление системы:

$$X_с = \frac{U^2_{к.з}}{S_{к.з}} \text{ [Ом]},$$

где $S_{к.з}$ — мощность короткого замыкания, мВ · А, системы при напряжении $U_{к.з}$, кВ.

Сопротивление линии:

$$Z_л = \sqrt{x_0^2 + r_0^2} L \text{ [Ом]},$$

где x_0 и r_0 — реактивное и активное сопротивления 1 км линии; L — длина линии.

Сопротивление трансформатора:

$$X_т = \frac{e_к U_н^2}{100 S_т} \text{ [Ом]},$$

где $e_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора, %; $U_н$ — номинальное напряжение трансформатора, кВ; $S_т$ — номинальная мощность трансформатора, тыс. кВ · А.

Сопротивление реактора:

$$X_р = \frac{X'_р}{100} \frac{U_н}{\sqrt{3} I_н} \text{ [Ом]},$$

где $X'_р$ — реактивность реактора, %; $U_н$ и $I_н$ — соответственно номинальное напряжение и ток реактора.

Сопротивления всех элементов цепи должны быть приведены к одному напряжению. Приведение сопротивления одной ступени напряжения к другой ступени напряжения выполняется по выражению

$$X'_1 = X_1 \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2,$$

где X_1 — сопротивление ступени с напряжением U_1; X'_1 — то же сопротивление, приведенное к напряжению U_2.

В приведенной выше методике расчета приняты некоторые упрощения, позволяющие, однако, сохранить приемлемую точность: в расчете не учитываются активные сопротивления трансформаторов и реакторов, допускается алгебраическое сложение сопротивлений с различными углами.

П р и м е р. Определить напряжение на выводах двигателя ВДС-325/49-16 в начальный момент пуска. Мощность двигателя 5000 кВт, напряжение 10 кВ, номинальный ток статора 340 А, кратность пускового тока 4,5.

Двигатель питается через гибкую воздушную связь длиной 0,4 км от трансформатора ТДТНГЧУ мощностью 20 000 кВ · А, напряжением 220/35/10 кВ. Напряжение короткого замыкания между обмотками высокого и низкого напряжения $e_{к.\,в.\,н-н.\,н} = 20{,}8$ %. Мощность трехполюсного короткого замыкания на стороне 220 кВ трансформатора равна 605 МВ · А.

Сопротивление системы, приведенное к напряжению 10 кВ:

$$X_c = \frac{U_{к.з}^2}{S_{к.з}} = \frac{10^2}{605} = 0,165 \text{ Ом.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$X_т = \frac{e_к U_н^2}{100 S_т} = \frac{20,8 \cdot 10^2}{100 \cdot 20} = 1,04 \text{ Ом.}$$

Сопротивление гибкой связи (без учета активного сопротивления):

$$X_л = x_0 L = 0,4 \cdot 0,4 = 0,16 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в начальный момент пуска:

$$X_д = \frac{U_н}{\sqrt{3} I_н k_п} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 340 \cdot 4,5} = 3,78 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление цепи:

$$X_\Sigma = X_c + X_т + X_л + X_д = 0,165 + 1,04 + 0,16 + 3,78 = 5,15 \text{ Ом.}$$

Напряжение на зажимах двигателя в начальный момент пуска:

$$U_д = \frac{X_д}{X_\Sigma} 100 = \frac{3,78 \cdot 100}{5,15} = 73,5\,\%.$$

Глава IX

СИЛОВЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Объем испытаний

Общие технические требования к силовым трансформаторам и автотрансформаторам определены ГОСТ 11677—75, в котором предусмотрены также программы приемосдаточных, типовых и периодических испытаний, проводимых на заводе-изготовителе. Методика испытаний регламентируется ГОСТ 3484—77, ГОСТ 22756—77, ГОСТ 8008—75.

Объем приемосдаточных испытаний, предусмотренный ПУЭ, включает следующие работы.

1. Определение условий включения трансформаторов.
2. Измерение характеристик изоляции.
3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты: а) изоляции обмоток вместе с вводами; б) изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок (испытание проводится при осмотре активной части).
4. Измерение сопротивления обмоток постоянному току. Измерения производятся на всех ответвлениях, если это не требует выемки сердечника.
5. Проверка коэффициента трансформации: Производится на всех ступенях переключения.
6. Проверка группы соединения трехфазных трансформаторов и полярности выводов однофазных трансформаторов. Производится при монтаже, если нет паспортных данных или есть сомнения в достоверности этих данных.
7. Измерения тока и потерь холостого хода. Производится одно из измерений, указанных ниже: а) измерение тока холостого хода при номинальном напряжении; измерение при малом напряжении с приведением потерь к номинальному напряжению или без приведения (метод сравнения).
8. Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы.
9. Испытание бака с радиаторами гидравлическим давлением. Производится гидравлическим давлением столба масла, высота которого над уровнем заполненного расширителя принимается равной 0,6 м для трубчатых и гладких баков и 0,3 м — для баков волнистых, радиаторных или с охладителями. Продолжительность испытания 3 ч при температуре масла не ниже + 10 °С. При испытании не должно наблюдаться просачивания масла.
10. Проверка системы охлаждения. Осмотр и проверка системы охлаждения производятся в соответствии с инструкцией завода-изготовителя.
11. Проверка состояния индикаторного силикагеля воздухоосушительных фильтров. Силикагель должен иметь равномерную голубую окраску зерен. Изменение цвета свидетельствует о его увлажнении.
12. Фазировка трансформаторов.

13. Испытание трансформаторного масла. Свежее сухое трансформаторное масло перед заливкой вновь вводимых трансформаторов, поставляемых без масла, должно испытываться по показателям пп. 1, 2, 4—12 табл. XIII.10. При испытании масла следует производить и измерение tg δ масла. Измерение tg δ масла следует производить также у трансформаторов, имеющих повышенные значения tg δ изоляции. Из трансформаторов, транспортируемых без масла, до начала монтажа производится отбор пробы остатков масла (со дна). Пробивное напряжение остатков масла в трансформаторах на напряжения 110—220 кВ должно быть не ниже 35 кВ.

Испытание масла, залитого в трансформатор, перед включением последнего под напряжение после монтажа производится по показателям пп. 1—6 табл. XIII.10. Масло из трансформаторов на напряжение 110 кВ и выше, транспортируемых с маслом, до начала монтажа испытывается по показателям пп. 1—6 и 12 табл. XIII.10. Испытание масла из трансформаторов с массой масла более 1000 кг, транспортируемых с маслом, при отсутствии заводского протокола испытания масла перед включением в работу производится по показателям пп. 1—11 табл. XIII.10, а масла из трансформаторов на напряжение 110 кВ и выше, кроме того,— по п. 12 табл. XIII.10. Масло из трансформаторов 1- и 2-го габаритов, прибывающих заполненными маслом, при наличии удовлетворяющих нормам показателей заводского испытания, проведенного не более чем за 6 месяцев до включения трансформатора в работу, разрешается испытывать по показателям пп.1 и 2 табл. XIII.10.

14. Испытание включением толчком на номинальное напряжение. В процессе 3—5-кратного включения трансформатора на номинальное напряжение не должны иметь места явления, указывающие на неудовлетворительное состояние трансформатора. Трансформаторы,смонтированные по схеме блока с генераторами, рекомендуется включать в сеть подъемом напряжения с нуля.

15. Испытание вводов.

16. Испытание встроенных трансформаторов тока.

Приведенный объем приемосдаточных испытаний распространяется на масляные реакторы и дугогасящие катушки. Маслонаполненные трансформаторы мощностью 1600 кВ · А и менее испытываются в объеме, предусмотренном пп. 1, 2, 4, 8, 9, 11—14. Сухие и заполненные совтолом трансформаторы всех мощностей испытываются по пп. 1—8, 12, 14. Объемы, нормы и методы испытаний вводов и трансформаторного масла рассматриваются в гл. XIII, встроенных трансформаторов тока — в гл. XI.

Перед началом испытаний необходимо провести внешний осмотр трансформатора, в процессе которого проверить исправность бака и радиаторов, состояние изоляторов, уровень масла, положение радиаторных кранов и крана на маслопроводе к расширителю, целость маслоуказательного стекла, заземление трансформатора.

При проведении наладочных работ может возникнуть необходимость в дополнительных испытаниях и измерениях, методика проведения которых рассматривается ниже.

Определение условий включения трансформаторов

Вопрос о допустимости включения трансформатора без сушки должен решаться по результатам испытаний и с учетом условий, в которых находился трансформатор до и во время монтажа. Объем проверки

состояния изоляции и условия включения без сушки зависят от мощности, напряжения и условий транспортировки трансформаторов.

1-я группа. В нее входят трансформаторы мощностью до 1000 кВ · А напряжением до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом и расширителем. Условия включения без сушки трансформаторов этой группы таковы: а) уровень масла — в пределах отметок маслоуказателя; б) значение R_{60}/R_{15} не ниже 1,3 при температуре 10—30 °С; в) характеристики масла должны соответствовать пп. 1—6 табл. XIII.10; г) если условие «а» не соблюдено, но обмотки трансформатора и переключатель покрыты маслом, или если не выполнены условия «б» или «в», но в масле нет следов воды и пробивное напряжение масла ниже, чем требуемое, не более чем на 5 кВ, дополнительно определяется отношение C_2/C_{50} или tg δ обмоток в масле, которые должны удовлетворять нормам, приведенным в табл. IX.1.

Таблица IX.1. **Допустимые значения характеристик изоляции обмоток**

Характеристика изоляции	Мощность трансформатора, кВ · А	Тем
		10
Наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции R_{60}	До 6300 включительно	450
	10 000 и более	900
Наибольшее допустимое значение tg δ	До 6300 включительно	1,2
	10 000 и более	0,8
Наибольшее допустимое значение отношения C_2/C_{50}	До 6300 включительно	1,1
	10 000 и более	1,05

Примечание. Значения характеристик изоляции относятся ко всем обмоткам

Достаточным для включения без сушки является соблюдение одной из следующих комбинаций условий: для трансформаторов мощностью до 100 кВ А — 1) «а», «б»; 2) «б», «г»; 3) «а», «г»; для остальных трансформаторов 1-й группы — 1) «а», «б», «в»; 2) «б», «в», «г»; 3) «а», «в», «г»; 4) «а», «б», «г». Для трансформаторов мощностью до 100 кВ · А включительно достаточно провести испытание масла только на пробивное напряжение. Кроме того, в масле не должно быть следов воды.

2-я группа. В нее входят трансформаторы мощностью от 1600 до 6300 кВ · А включительно на напряжение до 35 кВ включительно, транспортируемые с маслом и расширителем. Условия включения без сушки трансформаторов этой группы те же, что и для трансформаторов 1-й группы. Кроме того, при испытании по п. «б» значение R_{60} должно соответствовать табл. IX.1.

3-я группа. В эту группу входят трансформаторы мощностью 10 000 кВ · А и более, транспортируемые с маслом без расширителя. Условия включения трансформаторов этой группы без сушки таковы: а) трансформатор должен быть герметичным; б) характеристики масла должны соответствовать пп. 1—6 табл. XIII.10; в) значения R_{60}, C_2/C_{50} или tg δ, измеренные после заливки трансформатора маслом, должны удовлетворять нормам табл. IX.1 или значения R_{60} и tg δ, приведенные к температуре изоляции при измерении этих характеристик на заводе, не должны отличаться более чем на 30 % в сторону ухудшения от значений, указанных в заводском протоколе.

4—6-я группы. В эти группы входят трансформаторы на напряжения 110 кВ и выше всех мощностей, транспортируемые полностью залитыми маслом (4-я группа), без масла (с автоматической подпиткой

азотом, 5-я группа) и частично залитыми маслом (без расширителя, 6-я группа).

Для трансформаторов 4—6-й групп производятся следующие измерения характеристик изоляции.

1. Отбор пробы масла из трансформатора, испытания его в объеме сокращенного анализа, измерение $\operatorname{tg}\delta$ масла. У трансформаторов 5-й группы производится также отбор пробы остатков масла со дна бака и проверка его пробивного напряжения.

2. Определение отношения $\Delta C/C$ в начале и конце работ, при которых активная часть соприкасается с воздухом.

3. Измерение сопротивления изоляция R_{60} и $\operatorname{tg}\delta$ изоляции и определение отношения R_{60}/R_{15}. При решении вопроса о допустимости включения трансформаторов 4—6-й групп без сушки необходимо руководствоваться «Инструкцией по транспортировке, выгрузке, хране-

трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно, залитых маслом

пература обмотки, °С

20	30	40	50	60	70
300	200	130	90	60	40
600	400	260	180	120	80
1,5	2,0	2,5	3,4	4,5	6,0
1,0	1,3	1,7	2,3	3,0	4,0
1,2	1,3				
1,15	1,25				

данного трансформатора.

нию, монтажу и введению в эксплуатацию силовых трансформаторов общего назначения на напряжение 110—500 кВ» (РТМ 16.687.000—73) и заводскими инструкциями.

Для трансформаторов всех групп до и во время монтажа производится внешний осмотр и проверка наличия пломб на кранах и у пробки для отбора пробы масла, проверка уровня масла в трансформаторе.

В соответствии с инструкциями «Транспортирование, хранение, монтаж и ввод в эксплуатацию силовых трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно без ревизии их активных частей» (ОАХ 458.003—70) и «Инструкцией по транспортировке, хранению, монтажу и введению в эксплуатацию силовых трансформаторов общего назначения на напряжение 110—500 кВ» (РТМ 16.687 000—73) трансформаторы в зависимости от группы, к которой они относятся, и от характера отклонения от требований инструкций должны быть подвергнуты контрольному прогреву, контрольной подсушке или сушке в одном из следующих случаев: а) при признаках увлажнения масла, с которым прибыл трансформатор, или нарушении герметичности; б) если продолжительность хранения на монтаже без масла или без доливки масла превышает время, указанное в инструкциях; в) если время пребывания активной части трансформатора на воздухе превышает время, указанное в инструкциях; г) если на активной части или в баке трансформатора обнаружены следы воды или значительное увлажнение изоляции; д) если индикаторный силикагель потерял голубой цвет; е) если измеренные характеристики изоляции не соответствуют приведенным ниже нормам.

Методика измерений и нормы оценки характеристик изоляции

Характеристики изоляции допускается измерять не ранее чем через 12 ч после окончания заливки трансформатора маслом. Характеристики изоляции измеряются при температуре изоляции не ниже 10 °С у трансформаторов на напряжение до 150 кВ мощностью до 80 МВ · А и при температуре не менее нижнего значения, указанного в паспорте, у трансформаторов на напряжение выше 150 кВ или мощностью более 80 МВ · А. Для обеспечения указанной температуры транс-

Таблица IX.2. **Схемы измерения характеристик изоляции силовых**

Последовательность измерений	Двухобмоточные трансформаторы		Трехобмоточные трансформаторы	
	Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части трансформатора	Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части трансформатора
1	НН	Бак, ВН	НН	Бак, СН, ВН
2	ВН	Бак, НН	СН	Бак, ВН, НН
3	ВН+НН	Бак	ВН	Бак, НН, СН
4	—	—	ВН+СН *	Бак, НН
5			ВН+СН+НН *	Бак

Примечание. ВН, СН, НН — соответственно обмотки высокого, среднего, низ
* Измерения обязательны только для трансформаторов мощностью 16 000 кВ·А и

форматор подвергается нагреву до температуры, превышающей требуемую на 10 °С. Характеристики изоляции измеряются на спаде температуры при отклонении ее от требуемого значения не более чем на 5 °С. Температура изоляции определяется до измерения характеристик изоляции. В качестве температуры изоляции трансформатора, не подвергавшегося нагреву, принимается температура верхних слоев масла. Для трансформаторов на напряжение выше 35 кВ, залитых маслом, в качестве температуры изоляции следует принимать температуру фазы *В* обмотки ВН, определяемую по ее сопротивлению постоянному току. При нагреве трансформатора указанное сопротивление измеряется не ранее чем через 60 мин после отключения нагрева обмотки током или через 30 мин после отключения внешнего нагрева. При определении температуры обмотки по сопротивлению постоянному току рекомендуется температуру обмотки вычислять по формуле

$$t_x = \frac{R_x - R_0}{R_0}(235 + t_0) + t_0,$$

где R_x — измеренное сопротивление обмотки при температуре t_x; R_0— сопротивление обмотки, измеренное на заводе при температуре t_0 (записанной в паспорте трансформатора).

При определении отношения $\Delta C/C$ трансформаторов на напряжения 110 кВ и выше в качестве температуры изоляции принимается среднесуточная температура, измеренная термометром (или термопарой) на верхнем ярме магнитопровода непосредственно после измерения ΔC и C.

Перед измерением характеристик изоляции необходимо протереть поверхность вводов трансформатора. При измерениях во влажную погоду рекомендуется применять экраны. Перед измерением характеристик изоляции измеряют значения $R_{из}$, C, ΔC проводов, соединяющих приборы с трансформатором. Длина проводов должна быть как можно меньше, поэтому приборы нужно располагать поближе к трансформатору. Измеренное значение $R_{из}$ проводов должно быть не меньше верхнего предела измерения мегомметра. Если значения ΔC и C проводов можно отсчитать по прибору, вносится поправка вычита-

трансформаторов

Автотрансформаторы		Шунтирующие реакторы		Заземляющие реакторы	
Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части автотрансформатора	Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части реактора	Обмотки, на которых производят измерения	Заземляемые части реактора
НН	Бак, ВН, СН	ВН	Бак	ВН	Бак, НН
ВН+СН	Бак, НН	—	—	—	—
ВН+СН+ +НН	Бак	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—

кого напряжений.
более.

нием ΔC и C проводов из результатов измерения полностью собранной схемы с испытываемым трансформатором. Характеристики изоляции измеряют по схемам и в последовательности, указанным в табл. IX.2. При измерении все выводы обмоток одного напряжения соединяют вместе, остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены. Вначале измеряют R_{60} и R_{15}, а затем остальные характеристики трансформатора. Сопротивление изоляции измеряют по приведенным выше схемам мегомметром на 2500 В с верхним пределом измерения не ниже 10 000 МОм. Перед началом измерения все обмотки должны быть заземлены не менее чем на 5 мин, а между отдельными измерениями — не менее чем на 2 мин. Емкость и tg δ обмоток измеряют мостом переменного тока по перевернутой схеме (см. гл. III) согласно табл. IX.2. Измерение tg δ на трансформаторах, залитых маслом, можно проводить при напряжении, не превышающем 2/3 заводского испытательного напряжения испытываемой обмотки.

Измерение tg δ при сушке трансформатора без масла допускается производить при напряжении не выше 220 В. При измерении ΔC и C изоляции трансформаторов на напряжение 110 кВ и выше в конце монтажа до заливки маслом необходимо учитывать ΔC и C маслонаполненных вводов трансформаторов введением поправок (вычитанием значения, измеренного на неустановленном вводе, из значения, измеренного на трансформаторе с установленными вводами).

Отношения C_2/C_{50} и $\Delta C/C$ измеряются приборами ЕВ-3 или ПКВ-7 по схемам табл. IX.2. Перед измерением все обмотки должны быть заземлены не менее чем на 5 мин.

Измеренное при монтаже значение tg δ изоляции обмоток при температуре заводских испытаний или приведенное к этой температуре, если температура при измерении отличается от заводской, должно быть для трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно, залитых маслом, не выше значений, указанных в табл. IX.1, для трансформаторов на напряжение 110 кВ и выше — не более 130 % паспортного значения. Значения tg δ, приведенные к заводской температуре, не превышающие 1 %, следует считать удовлетворительными без сравнения с паспортными значениями. Значения $\operatorname{tg} \delta_1$, измеренного при

Таблица IX.3. **Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3 для пересчета значений соответственно tg δ, R_{60}, обмоток и tg δ масла**

Разность температур $t_2 - t_1$, °C	Значения			Разность температур $t_2 - t_1$, °C	Значения		
	K_1	K_2	K_3		K_1	K_2	K_3
1	1,03	1,04	1,04	20	1,75	2,25	2,25
2	1,06	1,08	1,08	25	2,0	2,75	2,75
3	1,09	1,13	1,13	30	2,3	3,4	3,4
4	1,12	1,17	1,17	35	—	—	4,15
5	1,15	1,22	1,22	40	—	—	5,1
10	1,31	1,5	1,5	45	—	—	6,2
15	1,51	1,84	1,84	50	—	—	7,5

температуре t_1 на монтаже, приводят к температуре измерения t_2 на заводе с помощью коэффициента K_1, значения которого приведены в табл. IX.3:

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_1 K_1,$$

где tg δ — измеренное значение $\operatorname{tg} \delta_1$, приведенное к температуре заводских измерений.

Значение K_1 разности температур, не указанной в табл. IX.3, определяется умножением соответствующих коэффициентов таблицы. Например, K_1, соответствующий разности температур 8 °C (K_8), определяется перемножением коэффициентов K_1, соответствующих температурам 5 °C (K_5) и 3 °C (K_3).

Значения R_{60} изоляции, измеренные при монтаже (при заводской температуре или приведенные к этой температуре) для трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно, залитых маслом, должны быть не менее значений, указанных в табл. IX.1; для трансформаторов на напряжения 110 кВ и выше — не менее 70 % значения, указанного в паспорте трансформатора. Значения R_{60_1}, измеренные при температуре t_1 на монтаже, приводят к температуре измерения t_2 на заводе с помощью коэффициента K_2, значения которого приведены в табл. IX.3:

$$R_{60} = R_{60_1} : K_2,$$

где R_{60}— измеренное значение R_{60_1}, приведенное к температуре заводских измерений.

Данные измерений tg δ и R_{60} допускается пересчитывать по температуре для трансформаторов мощностью до 80 МВ · А и на напряжение до 150 кВ при разности температур не более ± 10 °C, а для трансформаторов бо́льшей мощности и на напряжения выше 150 кВ — при разности температур не более ± 5 °C.

При измерении характеристик изоляции необходимо учитывать влияние $\operatorname{tg}\delta$ масла, заливаемого в трансформатор. Если $\operatorname{tg}\delta$ масла, залитого при монтаже в трансформатор ($\operatorname{tg}\delta_{м2}$) находится в допустимых ГОСТом пределах, но отличается от заводского значения, фактические значения $\operatorname{tg}\delta$ и R_{60} изоляции с учетом влияния $\operatorname{tg}\delta$ масла определяются по формулам

$$\operatorname{tg}\delta_{ф} = \operatorname{tg}\delta_{из} - K(\operatorname{tg}\delta_{м2} - \operatorname{tg}\delta_{м1}),$$

$$R_{60_{ф}} = R_{60_{из}} \frac{\operatorname{tg}\delta_{м2}}{\operatorname{tg}\delta_{м1}},$$

где $\operatorname{tg}\delta_{из}$ и $R_{60из}$ — измеренные значения $\operatorname{tg}\delta$ и R_{60} изоляции; K — коэффициент приведения, имеющий приближенное значение 0,45; $\operatorname{tg}\delta_{м2}$ — значение $\operatorname{tg}\delta$ масла, залитого при монтаже, приведенное к температуре измерения характеристик изоляции на монтаже с помощью коэффициента $k_з$; $\operatorname{tg}\delta_{м1}$ — значение $\operatorname{tg}\delta$ масла, залитого на заводе, приведенное к температуре измерения характеристик изоляции иа заводе с помощью коэффициента $K_з$ (табл. IX.3):

$$\operatorname{tg}\delta_{м1} = \operatorname{tg}\delta'_{м1} K_з,$$

$$\operatorname{tg}\delta_{м2} = \operatorname{tg}\delta'_{м2} K_з,$$

если температура при измерении $\operatorname{tg}\delta$ масла ниже температуры при измерении характеристик изоляции;

$$\operatorname{tg}\delta_{м1} = \frac{\operatorname{tg}\delta'_{м1}}{K_з}, \quad \operatorname{tg}\delta_{м2} = \frac{\operatorname{tg}\delta'_{м2}}{K_з},$$

если температура при измерении $\operatorname{tg}\delta$ масла выше температуры при измерении характеристик изоляции; $\operatorname{tg}\delta'_{м1}$ и $\operatorname{tg}\delta'_{м2}$ — измеренные значения $\operatorname{tg}\delta$ масла, залитого соответственно на заводе и при монтаже.

Значения отношения C_2/C_{50}, измеренные на монтаже для трансформаторов на напряжение до 35 кВ включительно, залитых маслом, не должны превышать значений, указанных в табл. IX.1. Для трансформаторов на напряжения 110 кВ и выше, транспортируемых без масла, значения $\Delta C/C$, измеренные по прибытии трансформаторов на место монтажа, не нормируются, но должны использоваться в качестве исходных данных в эксплуатации.

Условия включения сухих трансформаторов определяются в соответствии с указаниями завода-изготовителя. Наименьшее допустимое значение сопротивления изоляции вновь вводимых сухих трансформаторов должно быть для обмоток с номинальным напряжением до 1 кВ не ниже 100 МОм, 6 кВ — 300 МОм, 10 кВ — 500 МОм («Нормы испытания электрооборудования»).

Испытание электрической прочности главной изоляции обмоток трансформаторов повышенным напряжением промышленной частоты

Методика и аппаратура для испытания изоляции повышенным напряжением рассмотрены в гл. III, IV.

Значения испытательных напряжений приведены в табл. IX.4. Продолжительность приложения напряжения 1 мин. При испытании

Таблица IX.4. **Испытательные напряжения частоты 50 Гц для электрооборудования с нормальной и облегченной изоляцией**

Класс напряжения электрооборудования, кВ	Испытательное напряжение, кВ					
	Силовые трансформаторы, автотрансформаторы, шунтирующие и заземляющие реакторы		Аппараты, трансформаторы тока и напряжения, токоограничивающие реакторы		Изоляторы и вводы	
	Нормальная изоляция	Облегченная изоляция	Фарфоровая изоляция	Другие виды изоляции *	Фарфоровая изоляция	Другие виды изоляции *
До 0,69	4,5	2,7	1	1	—	—
3	16,2	9	24	21,6	25	(22,5)
6	22,5	15,4 (14,4)	32	28,8	32	(28,8)
10	31,5	21,6	42	37,8(37,6)	42	(37,8)
15	40,5	33,3	55	49,5	57	(51,3)
20	49,5	—	65	58,5	68	(61,2)
35	76,5	—	95	85,5	100	(90)
110	—	—	—	—	—	(238,5)
150	—	—	—	—	—	(306)
220	—	—	—	—	—	(441)

Примечания. 1. Испытательное напряжение сигнальной обмотки заземляющих реакторов перед вводом в эксплуатацию составляет 1,8 кВ. 2. В скобках приведены данные согласно «Нормам испытания электрооборудования».

* Под другими видами изоляции понимается бумажно-масляная изоляция, изоляция из органических твердых материалов, кабельных масс и жидких диэлектриков, а также изоляция, состоящая из фарфора в сочетании с перечисленными диэлектриками.

все выводы обмоток одного напряжения соединяются вместе. При испытании изоляции каждой обмотки остальные обмотки и бак трансформатора должны быть заземлены. Трансформатор считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя или перекрытия изоляции, отмеченных по звуку разрядов в баке, выделению газов, дыма или по показанию приборов (при пробое напряжение падает, а ток увеличивается).

Испытание повышенным напряжением изоляции обмоток маслонаполненных трансформаторов при вводе в эксплуатацию необязательно. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции обмоток сухих трансформаторов обязательно и производится по нормам табл. IX.4 для трансформаторов с облегченной изоляцией. Импортные трансформаторы разрешается испытывать напряжением, указанным в табл. IX.4 лишь в тех случаях, если оно не превышает напряжения, которым данный трансформатор был испытан на заводе.

Испытание изоляции стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок

Сопротивление изоляции доступных стяжных шпилек, прессующих колец и ярмовых балок измеряется мегомметром на напряжение 1000—2500 В. Перед измерением сопротивления изоляции ярмовых балок отсоединяются проводники, соединяющие магнитопровод с други-

ми заземленными элементами трансформатора. Значение сопротивления изоляции не нормируется, однако оно не должно быть ниже нескольких мегом. Наиболее распространенной причиной низкой изоляции являются заусеницы и грязь под стальными шайбами.

При удовлетворительных результатах измерения изоляция стяжных шпилек и ярмовых балок испытывается напряжением 1000 В промышленной частоты. Продолжительность испытания 1 мин.

Измерение сопротивления обмоток постоянному току

Методика измерения приведена в гл. II. Измеряются, как правило, линейные сопротивления. При наличии нулевого вывода измеряют также одно из фазных сопротивлений. Измерения выполняются при установившейся температуре. В качестве температуры обмотки при измерении для масляных трансформаторов (собранных), не подвергавшихся нагреву, может быть принята установившаяся температура верхних слоев масла; для сухих трансформаторов и сердечников масляных трансформаторов, вынутых из масла,— температура окружающего воздуха, если трансформатор находился в данных условиях в течение времени, достаточного для выравнивания температур (обычно от 3 до 20 ч в зависимости от мощности трансформатора).

Ввиду большой индуктивности обмоток время установления тока при измерении значительно и измеряется иногда десятками минут. Для сокращения этого времени в цепь тока последовательно включают активное сопротивление (реостат), уменьшая тем самым постоянную времени цепи. Если измерение проводится методом амперметра—вольтметра, то время нарастания тока может быть сокращено подачей на обмотку в течение первых двух-трех секунд несколько большего напряжения (шунтированием реостата), чем при измерениях.

Измеренные сопротивления обмоток различных фаз на одноименных ответвлениях не должны отличаться от среднего значения сопротивления или от заводских данных более чем на 2 %. Кроме того, должна соблюдаться одинаковая для всех фаз и соответствующая положениям переключателя закономерность изменения сопротивления постоянному току в различных положениях переключателя. Особое внимание следует обращать на закономерность изменения сопротивления по отпайкам трансформаторов с регулированием напряжения под нагрузкой, у которых встречаются ошибки из-за неправильного сочленения валов переключателя и привода, неправильной работы привода, а также ошибочного подсоединения отпаек обмоток к переключающему устройству.

Определение коэффициента трансформации

Коэффициент трансформации силовых трансформаторов определяют для проверки соответствия паспортным данным и правильности подсоединения ответвлений обмоток к переключателям. Из предусмотренных ГОСТ 3484—77 методов определения коэффициента трансформации в практике наладочных работ используется метод двух вольтметров. По этому методу к одной из обмоток трансформатора подводится напряжение и двумя вольтметрами одновременно измеряется подводимое напряжение и напряжение на другой обмотке трансформатора. Подводимое напряжение не должно превышать номинальное и в то же время должно составлять не менее 1% номинального напряжения.

Для трехфазных трансформаторов измерения можно проводить при трехфазном и однофазном возбуждении. При испытании трехфазных трансформаторов измеряют линейные напряжения на одноименных зажимах обеих обмоток. Если возможно измерить фазные напряжения, то коэффициент трансформации можно определить по фазным напряжениям одноименных фаз. При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток звезда—треугольник коэффициент трансформации измеряют с поочередным закорачиванием одной из фаз, соединенных в треугольник. Измерения проводятся на свободной паре фаз. Коэффициент трансформации определяется по формулам

$$k_{1ф} = \frac{U_{AB}}{2U_{ab}}, \quad k_{2ф} = \frac{U_{BC}}{2U_{bc}}, \quad k_{3ф} = \frac{U_{AC}}{2U_{ac}},$$

Рис. IX.1. Схемы измерения коэффициента трансформации силовых трансформаторов:

а — однофазных; *б* — трехфазных по трехфазной схеме возбуждения; *в* — трехфазных с соединением обмоток У/У по однофазной схеме возбуждения; *г* — трехфазных с соединением обмоток $У_н$/Д по однофазной схеме возбуждения; *д* — трехфазных с соединением обмоток У/Д по однофазной схеме возбуждения.

где $k_{1ф}$, $k_{2ф}$, $k_{3ф}$ — фазные коэффициенты трансформации; U_{AB}, U_{BC}, U_{AC}, U_{ab}, U_{bc}, U_{ac} — измеренные напряжения на обеих обмотках трансформатора.

Переход к линейному коэффициенту трансформации осуществляется по формуле

$$K_л = \sqrt{3}\, k_ф.$$

При однофазном возбуждении трансформатора с соединением обмоток звезда с нулевым выводом — треугольник напряжение подводится поочередно к каждой фазе, при этом не нужно закорачивать фазы. В этом случае определяется фазный коэффициент трансформации:

$$k_{1ф} = \frac{U_{AO}}{U_{ab}}, \quad k_{2ф} = \frac{U_{BO}}{U_{bc}}, \quad k_{3ф} = \frac{U_{CO}}{U_{ac}}.$$

Схемы измерения коэффициентов трансформации однофазных трансформаторов и трехфазных трансформаторов с различными схемами соединения обмоток приведены на рис. IX.1.

Коэффициент трансформации находят для всех ответвлений обмоток и всех фаз. При испытаниях трехобмоточных трансформаторов достаточно определить коэффициент трансформации для двух пар обмоток.

Проверка группы соединения обмоток

Группа соединения обмоток может быть проверена прямым методом (фазометром), методом двух вольтметров и методом постоянного тока.

Прямой метод (фазометром)

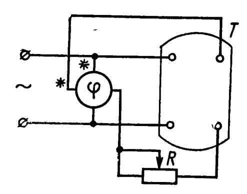


Рис. IX.2. Схема проверки группы соединения обмоток силового трансформатора методом фазометра.

Последовательную обмотку однофазного фазометра P через реостат подключают к зажимам одной из обмоток, а параллельную обмотку — к одноименным зажимам другой обмотки испытываемого трансформатора. К одной из обмоток трансформатора подводят напряжение, достаточное для нормальной работы фазометра (рис. IX.2). По измеренному углу определяют группу соединения обмоток. При определении группы соединений трехфазных трансформаторов проводят не менее двух измерений (для двух пар соответствующих линейных зажимов трансформатора).

Метод двух вольтметров

При проверке группы соединения этим методом соединяют зажимы A и a (рис. IX.3) испытываемого трансформатора, подводят к одной из обмоток напряжение и измеряют последовательно напряжения между

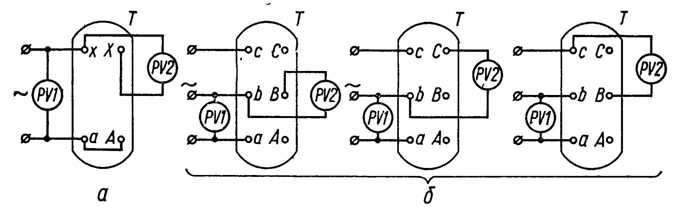


Рис. IX.3. Схемы проверки группы соединения обмоток силовых трансформаторов методом двух вольтметров:

а — для однофазного трансформатора; *б* — для трехфазного трансформатора.

зажимами X—x при испытании однофазных трансформаторов и между зажимами b—B, b—C и c—B при испытании трехфазных трансформаторов. Измеренные напряжения сравнивают с вычисленными по формулам табл. IX.5. В формулах обозначено: U_2—линейное напряжение на зажимах обмотки низшего напряжения; $K_л$— линейный коэффициент трансформации.

Таблица IX.5. **Векторные диаграммы и расчетные формулы для определения группы соединения силовых трансформаторов**

Группа соединения	Угловое смещение ЭДС, °	Возможное соединение обмоток и векторная диаграмма линейных ЭДС	$U_{b \to B}$ (U_{x-X})	$U_{b \to C}$	$U_{c \to B}$
0	0	УУ; ДД; ДZ	$U_2 (K_л - 1)$	$U_2 \sqrt{1 - K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - K_л + K_л^2}$
1	30	УД; ДУ; ДZ	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3} K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3} K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + K_л^2}$
11	330	УД; ДУ; УZ	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3} K_л + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 + K_л^2}$	$U_2 \sqrt{1 - \sqrt{3} K_л + K_л^2}$

Метод постоянного тока

Этот метод используют для однофазных трансформаторов, а также для трехфазных — при выведенной нулевой точке обмоток и при соединении обмоток Д/Д, когда соединение в треугольник выполняется вне бака трансформатора. Группу соединений определяют по схеме в соответствии с рис. IX.4 путем поочередной проверки полярности зажимов *A—X* и *a—x* магнитоэлектрическим вольтметром при подведении к зажимам *A—X* напряжения постоянного тока 2—12 В. Полярность зажимов *A—X* устанавливают при включении тока. После проверки полярности зажимов *A—X* вольтметр отсоединяют, не отсоединяя питающие провода, и присоединяют его к зажимам *a—x*. Полярность зажимов *a—x* определяют в момент включения и отключения тока. Если полярность зажимов *a—x* при включении тока совпадает с полярностью зажимов *A—X*, а при отключении— противоположна, то трансформатор имеет группу соединений 0, в противном случае — группу соединений *6*. Аналогично проверяется группа соединений трехфазных трансформаторов при выведенной нулевой точке обмоток и при соединении обмоток Д/Д.

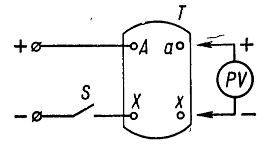


Рис. IX.4. Схема проверки группы соединения однофазного трансформатора методом постоянного тока.

Опыт холостого хода трансформатора при номинальном напряжении

Опыт холостого хода проводят для измерения тока и потерь холостого хода. При опыте холостого хода к одной из обмоток трансформатора (обычно низкого напряжения) при разомкнутых остальных обмотках подводят номинальное напряжение номинальной частоты практически синусоидальной формы и симметричное при испытании трехфазных трансформаторов (рис. IX.5).

При испытании трехфазных трансформаторов значение подведенного напряжения определяется из выражения

$$U_{\text{подв}} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{AC}}{3}.$$

Согласно ГОСТ 3484—77, можно принимать в качестве $U_{\text{подв}}$ напряжение, подводимое к крайним фазам *A* и *C*.

Ток холостого хода определяется в процентах номинального: для однофазных трансформаторов

$$I_0 = \frac{I_{\text{изм}}}{I_{\text{ном}}} 100\,[\%];$$

для трехфазных трансформаторов при номинальном напряжении

$$I_0 = \frac{I_A + I_B + I_C}{3 I_{\text{ном}}} 100\,[\%].$$

В трехфазных трансформаторах токи холостого хода различных фаз за счет различной длины пути потока каждой фазы несколько различаются. Ток средней фазы обычно на 20—35 % меньше тока крайних фаз.

Потери трехфазного трансформатора:

$$P_0 = C_\omega (a_1 \pm a_2),$$

где C_ω— постоянная ваттметра с учетом коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов; a_1 и a_2— показания ваттметров.

Потери холостого хода:

в однофазном трансформаторе

$$P_0 = P_{ст} + I_0^2 R_ф;$$

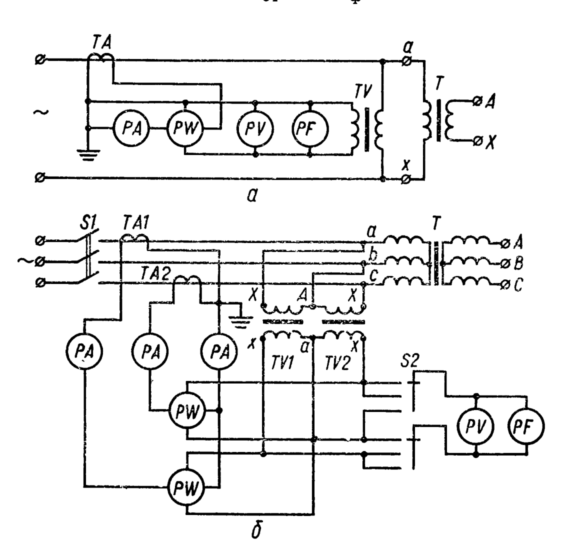


Рис. IX.5. Схемы включения приборов при проведении опыта холостого хода силовых трансформаторов:

а — для однофазных трансформаторов *б* — для трехфазных трансформаторов.

в трехфазном трансформаторе

$$P_0 = P_{ст} + 3I_0^2 R_ф.$$

Здесь $R_ф$ — фазовое сопротивление обмотки постоянному току; $P_{ст}$ — потери в стали; $I_0^2 R_ф$ и $3I_0^2 R_ф$ — потери в меди. Так как при холостом ходе потери в меди очень малы, можно принять $P_0 \simeq P_{ст}$.

Если испытание проводится при частоте f', отличной от номинальной $f_{ном}$ (но не более чем на ± 3 %), то подводимое для испытания напряжение определяется по формуле

$$U_{подв} = U_{ном} \frac{f'}{f_{ном}}.$$

Потери холостого хода P_0, приведенные к номинальной частоте:

$$P_0 = \frac{P'_0}{P_2\left(\frac{f'}{50}\right)^2 + P_1\left(\frac{f'}{50}\right)^2}$$

где P'_0 — потери, измеренные при частоте f'; P_1 — доля потерь, обусловленных гистерезисом, принимается равной 0,5 для холоднокатаной электротехнической стали и 0,8 — для горячекатаной стали; P_2 — доля потерь, обусловленная вихревыми токами, принимается равной 0,5 и 0,2 соответственно.

По данным измерений опыта холостого хода трансформатора, кроме I_0 и P_0, рассчитываются следующие величины:

коэффициент мощности трехфазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3} U I_0};$$

коэффициент мощности однофазного трансформатора при холостом ходе

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U I_0};$$

полное фазовое сопротивление обмотки

$$Z_{0ф} = \frac{U_ф}{I_{0ф}} \text{ [Ом]};$$

активная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$R_{0ф} = Z_{0ф} \cos \varphi_0 \text{ [Ом]};$$

реактивная составляющая полного фазового сопротивления обмотки

$$X_{0ф} = \sqrt{Z_{0ф}^2 - R_{0ф}^2} = Z_{0ф} \sin \varphi_0 \text{ [Ом]};$$

активная и реактивная составляющие тока холостого хода

$$I_{0а} = I_0 \cos \varphi_0, \quad I_{0р} = I_0 \sin \varphi_0.$$

Обычно $\frac{I_{0а}}{I_{0р}} < 0{,}1$.

Примеры схем включения приборов при проведении опыта холостого хода приведены на рис. IX.5. Значения тока и потерь холостого хода не нормируются.

Измерение потерь холостого хода при малом напряжении

Измерения проводятся при напряжении, составляющем 5—10 % номинального (рис. IX.6, IX.7). Сначала измеряют подводимое напряжение U' и суммарную мощность $P_{изм}$, потребляемую испытываемым трансформатором и измерительными приборами. Затем определяют мощность $P_{пр}$, потребляемую приборами.

Потери в трансформаторе при напряжении U':

$$P'_0 = P_{\text{изм}} - P_{\text{пр}}. \qquad (IX.1)$$

Потери в трехфазных трансформаторах измеряют при трехфазном возбуждении. Значение потерь определяют по выражению (IX.1).

В трансформаторах трехстержневого исполнения потери можно измерять при однофазном возбуждении. При этом выполняют три опыта с приведением трехфазного трансформатора к однофазному путем поочередного замыкания накоротко одной из его фаз и возбуждения двух других (рис. IX.8). Первый опыт — замыкают накоротко обмотку

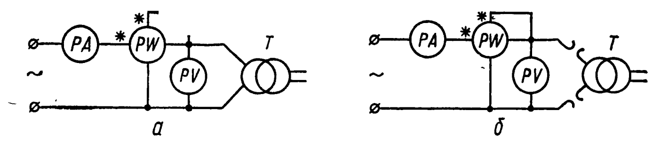


Рис. IX.6. Схемы измерения потерь холостого хода в однофазном трансформаторе:
а — суммарных потерь; *б* — в приборах.

фазы *А*, возбуждают фазы *В* и *С* трансформатора и измеряют потери. Второй опыт — замыкают накоротко обмотку фазы *В*, возбуждают фазы *А* и *С* трансформатора и измеряют потери. Третий опыт — замыкают накоротко обмотку фазы *С*, возбуждают фазы *А* и *В* трансформатора и измеряют потери. Обмотки фаз замыкают накоротко на соответствующих выводах обмоток трансформатора (высшего, среднего или низшего напряжения). При этом руководствуются действительной схемой соединений обмоток трансформатора.

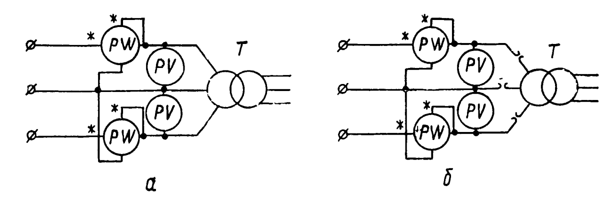


Рис. IX.7. Схемы измерения потерь холостого хода в трехфазном трансформаторе:
а — суммарных потерь; *б* — в приборах.

Потери в трансформаторе при напряжении U':

$$P'_0 = \frac{P'_{0AB} + P'_{0BC} + P'_{0AC}}{2},$$

где P'_{0AB}, P'_{0BC}, P'_{0AC} — потери, определенные при указанных выше опытах (за вычетом потерь в приборах) при одинаковых подводимых напряжениях.

Обычно для исправных трансформаторов справедливы следующие приближенные соотношения между значениями измеренных потерь: потери, измеренные при закорачивании обмотки каждой крайней фазы (*А* или *С*), практически одинаковы, а потери, измеренные при закорачивании обмотки средней фазы (*В*), на 30—40 % больше.

Потери трансформатора на холостом ходу $P_{0\ прив}$, соответствующие $U_{ном}$, определяют путем приведения потерь, измеренных при некотором малом напряжении U', по формуле

$$P_{0\ прив} = P_0' \left(\frac{U_{ном}}{U'}\right)^n,$$

где n зависит от сорта трансформаторной стали. Обычно n имеет следующие приближенные значения (при возбуждении трансформатора напряжением 5—10 % $U_{ном}$): для горячекатаной трансформаторной стали 1,8, для холоднокатаной стали 1,9.

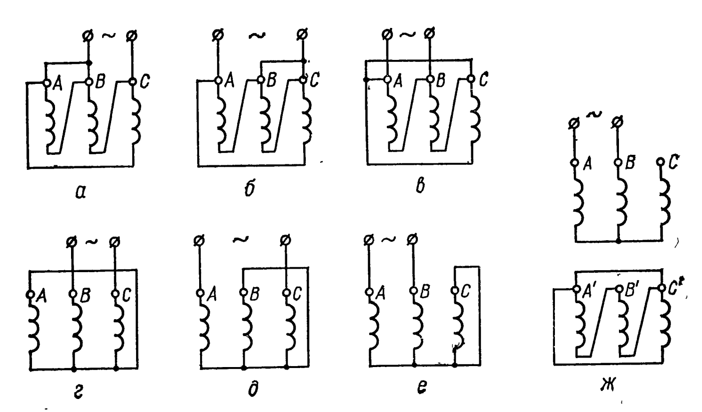


Рис. IX.8. Схемы однофазного возбуждения трехфазных трансформаторов для измерения потерь при малом напряжении:

а — в — при соединении первичной обмотки в треугольник; *г—е* — при соединении первичной обмотки в звезду с выведенной нулевой точкой; *ж* — при соединении первичной обмотки в звезду без выведенной нулевой точки.

Опыт короткого замыкания трансформатора

При опыте короткого замыкания определяются напряжение и потери короткого замыкания. Опыт короткого замыкания проводится следующим образом: одна из обмоток замыкается накоротко, а к другой подводится напряжение номинальной частоты, при котором значение тока в обмотках трансформатора составляет не менее 0,25 номинального. Для трехобмоточных трансформаторов опыт проводят с каждой парой обмоток, а не участвующую в опыте обмотку оставляют разомкнутой. Для замыкания обмотки накоротко должны быть использованы проводники минимальной длины, рассчитанные на ток в закорачиваемой обмотке.

Для измерения тока, потерь и напряжения короткого замыкания применяют те же схемы, что и при опыте холостого хода (см. рис. IX. 5). Напряжение и ток трехфазных трансформаторов определяют как средние арифметические показаний приборов всех фаз.

Потери $P_к$ и напряжение короткого замыкания, соответствующие номинальному току обмотки, вычисляют по формулам

$$P_к = P'_к\left(\frac{I_{ном}}{I'_к}\right)^2, \quad U_к = \frac{U'_к I_{ном}}{U_{ном} I'_к} 100 \ [\%].$$

Здесь $P'_к$, $U'_к$ — потери и напряжение короткого замыкания, соответствующие току $I'_к$, при котором проводился опыт; $U_{ном}$ и $I_{ном}$ — номинальные значения напряжения и тока обмотки трансформатора, к которой подводилось напряжение при опыте.

Для трехфазных трансформаторов опыт короткого замыкания можно выполнять пофазно с замыканием накоротко всех трех фаз и питанием попарно двух. Потери и напряжение короткого замыкания, измеренные в однофазной схеме, пересчитывают на трехфазный режим по формулам

$$P_к = \frac{P_{кAB} + P_{кBC} + P_{кAC}}{2}, \quad U_к = \frac{\sqrt{3}}{6}(U_{кAB} + U_{кBC} + U_{кAC}).$$

Здесь $P_{кAB}$, $P_{кBC}$, $P_{кAC}$, $U_{кAB}$, $U_{кBC}$, $U_{кAC}$ — потери и напряжения короткого замыкания, измеренные в однофазных схемах.

Потери, измеренные при опыте короткого замыкания и приведенные к номинальному току, приводят к расчетной температуре $\nu_{ном}$ (для изоляционных материалов классов А, В, Е — 75 °С; классов F, Н, С — 115 °С). Для этого из измеренных и приведенных к номинальному току потерь короткого замыкания $P_к$ вычитают сумму потерь в обмотках $\Sigma I_к^2 R$, которую вычисляют по измеренному сопротивлению обмоток постоянному току и приводят к температуре обмоток при опыте короткого замыкания. Разность потерь $P_{доб} = P_к - \Sigma I_к^2 R$ принимают за значение добавочных потерь при температуре ν.

Затем к расчетной температуре $\nu_{ном}$ приводим потери в обмотках $I_к^2 R$:

$$I_к^2 R_{ном} = I_к^2 R k_1$$

и добавочные потери

$$P_{доб\,\nu_{ном}} = P_{доб}\frac{1}{k_1},$$

где $k_1 = \dfrac{\nu_{ном} + 235}{\nu + 235}$.

Потери короткого замыкания, приведенные к расчетной температуре $\nu_{ном}$, определяют из выражения

$$P_{к\nu_{ном}} = \sum I_к^2 R_{\nu_{ном}} + P_{доб\nu_{ном}}.$$

Напряжение короткого замыкания в процентах, приведенное к расчетной температуре $\nu_{ном}$, определяют из выражения

$$U_{к\nu_{ном}} = \sqrt{(U_{a\nu} k_1)^2 + U_{p\nu}^2},$$

где $U_{a\nu}$ и $U_{p\nu}$ — активная и реактивная составляющие напряжения

короткого замыкания при температуре ν в процентах, определяемые по формулам

$$U_{a\nu} = \frac{P_к}{10P_{ном}}, \quad U_{p\nu} = \sqrt{U_{к\nu}^2 - U_{a\nu}^2},$$

где $U_{к\nu}$ — измеренное при температуре ν значение напряжения короткого замыкания в процентах, приведенное к номинальному току трансформатора; $P_к$ — измеренные при температуре ν потери короткого замыкания, приведенные к номинальному току; $P_{ном}$ — номинальная мощность трансформатора в кВ · А.

Напряжение короткого замыкания в процентах, измеренное при частоте f', отличной от номинальной, но не более чем на ± 3 %, может быть приведено к номинальной частоте:

$$U_{кf_{ном}} = \sqrt{\left(U'_р \frac{f_{ном}}{f'}\right)^2 + U'^2_а},$$

где $U'_а$ и $U'_р$ — активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания в процентах при частоте f'.

Пересчет потерь короткого замыкания по частоте не производят.

Данные опыта короткого замыкания трехфазного трансформатора используются для определения:

полного сопротивления трансформатора

$$Z_к = \frac{U_к}{\sqrt{3}\, I_{ном}};$$

активного сопротивления трансформатора

$$R_к = \frac{P_к}{3I^2_{ном}};$$

реактивного сопротивления трансформатора

$$X_к = \sqrt{Z^2_к - R^2_к};$$

коэффициента мощности при коротком замыкании

$$\cos \varphi_к = \frac{P_к}{\sqrt{3}\, U_к I_{ном}}.$$

Измерение сопротивления нулевой последовательности

Сопротивление нулевой последовательности трехфазных трансформаторов измеряют между соединенными вместе линейными зажимами обмоток, соединенных в звезду или зигзаг, и выведенным зажимом нейтрали. Если в трансформаторах имеется обмотка, соединяемая в треугольник, то это соединение должно быть выполнено. Измеренное сопротивление приводится к значению, приходящемуся на одну фазу:

$$Z_0 = 3\frac{U}{I}\ [\text{Ом}],$$

где U — подводимое напряжение, В; I — измеренное значение тока, А.

Проверка работы переключающего устройства и снятие круговой диаграммы

Методы испытаний переключающих устройств силовых трансформаторов определены ГОСТ 8008—75. При приемосдаточных испытаниях перед вводом в эксплуатацию проверку работы переключающего устройства и давления его контактов выполняют в соответствии с заводскими инструкциями. Проверка последовательности действия контактов переключающего устройства осуществляется путем снятия диаграмм работы контактов, называемых также круговыми диаграммами переключающего устройства. Требованиями ПУЭ предусматривается снятие круговой диаграммы на всех положениях переключателя.

Снятие круговых диаграмм методом сигнальных ламп

На валу, соединяющем переключающее устройство с приводным механизмом, укрепляют указательную стрелку, а на неподвижной части переключающего устройства — шкалу для отсчета углов, с ценой деления 1° (можно также укрепить шкалу на валу, а указательную стрелку — на неподвижной части переключающего устройства). При

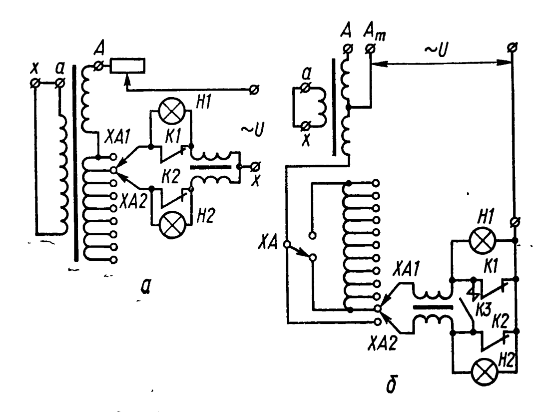


Рис. IX.9. Схемы снятия круговых диаграмм реакторного переключающего устройства:

а — с контакторами и избирателями при выведенной средней точке реактора; *б* — с предызбирателем с мостиковым включением дугогасительных контактов; *XA* — контакты предызбирателя; *XA1*, *XA2* — контакты избирателя; *K1*, *K2*, *K3* — контакты контактора; *H1*, *H2* — сигнальные лампы.

исходном положении переключающего устройства указательная стрелка показывает на нуль. Направление вращения приводного механизма при его установке в исходное положение должно совпадать с направлением вращения при последующем снятии диаграммы; это исключает влияние люфтов переключающего устройства. Электрическую схему для испытания собирают таким образом, чтобы моменты замыкания и размыкания контактов избирателя и контактора фиксировались загоранием и погасанием сигнальных ламп.

Существует много разновидностей схем включения сигнальных ламп, однако не все они удобны и дают достаточно надежные результаты.

На рис. IX.9 приведены рекомендуемые схемы снятия круговых диаграмм переключающего устройства с контакторами и избирателями при выведенной средней точке реактора (рис. IX.9,*а*) и переключающего устройства с предызбирателем с мостиковым включением ду-

Таблица IX.6. **Результаты измерений углов**

Операция	*H1*	*H2*	Углы поворота вала					
			ход от ... к ...			ход от ... к ...		
			a	*b*	*c*	*a*	*b*	*c*
К1 открывается	Загорается	Не горит						
ХА1 открывается	Гаснет	» »						
ХА1 закрывается	Загорается	» »						
К1 закрывается	Гаснет	» »						
К2 открывается	Не горит	Загорается						
ХА2 открывается	» »	Гаснет						
ХА2 закрывается	» »	Загорается						
К2 закрывается	» »	Гаснет						

гогасительных контактов (рис. IX.9,*б*). Вместо сигнальных ламп можно использовать амперметры. Реостаты устанавливаются в положение, в котором при разомкнутом контакторе лампы горят с заметным накалом (или заметно отклоняются стрелки амперметров).

При медленном вращении рукоятки приводного механизма в направлении следующего положения отмечают моменты замыкания и размыкания контактов избирателей и контакторов, определяемые по

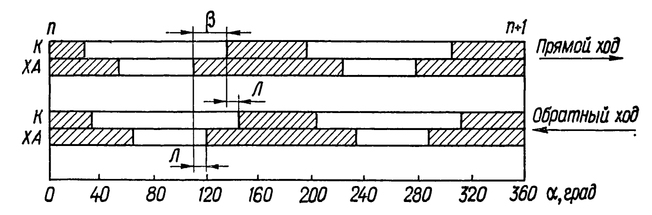


Рис. IX.10. Участок круговой диаграммы переключающего устройства с контакторами:

n, *n*+1 — положения переключающего устройства; *К* — контактор, *ХА* — избиратель; β — угол перекрытия контактов; *Л* — люфт.

свечению и погасанию сигнальных ламп. При достижении следующего положения рукоятку прокручивают несколько дальше, после чего снимают диаграмму при переключении в обратную сторону. Результаты измерений углов заносят в табл. IX.6. По данным измерений строят развернутую круговую диаграмму. На рис. IX.10 в качестве примера приведен участок круговой диаграммы для переключающего устройства с контакторами (рис. IX.9,*а*). Последовательность действия элементов переключающего устройства, изображенного на рис. IX.9,*б* (РНТ-20), и состояние сигнальных ламп приведены в табл. IX.7.

Таблица IX.7. **Последовательность действия элементов переключающего устройства типа РНТ-20 и состояния сигнальных ламп**

Положение переключающего устройства	Контакторы			Избиратели		Реверс		Лампы	
	K1	K2	K3	XA1	XA2	I—II	I—III	H1	H2
11 Рабочее	Включен	Включен	Включен	Включен на 11	Включен на 11	Отключен	Включен	Не горит	Не горит
I Промежуточное	»	Отключен	»	То же	То же	»	»	» »	» »
II Промежуточное	»	»	Отключен	» »	Включен на 11 *	»	»	» »	Загорается
III Промежуточное	»	»	»	» »	Отключен	»	»	» »	Гаснет
IV Промежуточное	»	»	»	» »	Включен на 12	»	»	» »	Загорается
V Промежуточное	»	»	Включен	» »	Включен на 12 **	»	»	» »	Гаснет
VI Промежуточное	»	Включен	»	» »	Включен на 12	»	»	» »	Не горит
VII Промежуточное	Отключен	»	»	» »	То же	»	»	» »	» »
VIII Промежуточное	»	»	Отключен	» »	Включен на 12 ***	»	»	Загорается	» »
IX Промежуточное	»	»	»	Отключен	Включен на 12	»	Отключен	Гаснет	» »
X Промежуточное	»	»	»	Включен на 12	То же	Включен	»	Загорается	» »
XI Промежуточное	»	»	Включен	То же	» »	»	»	Гаснет	» »
12 Рабочее	»	»	»	» »	» »	»	»	Не горит	» »

* Избиратель *XA2* обесточен.
** Секция регулировочной обмотки замкнута на реактор.
*** Избиратель *XA1* обесточен.

На рис. IX.11 приведена схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства без выведенной средней точки реактора. Диаграмма этого устройства снимается поочередно для каждого плеча. Для этого на время снятия диаграммы одного плеча между контактами контактора второго плеча устанавливают изоляционную прокладку *П*. Диаграмму снимают в обоих направлениях работы переключающего устройства, после чего аналогично снимают диаграмму второго плеча. При замкнутых контактах контактора (*K1*, *K2*) лампа горит ярко, при размыкании контактов контактора яркость свечения лампы снижается, так как при этом лампа оказывается включенной последовательно с обмоткой трансформатора. При размыкании контактов (*XA1*, *XA2*) избирателя лампа гаснет, далее при замыкании контактов (*XA1*, *XA2*) избирателя (на другом ответвлении) лампа загорается и при замыкании контактов (*K1*, *K2*) контактора начинает гореть ярче.

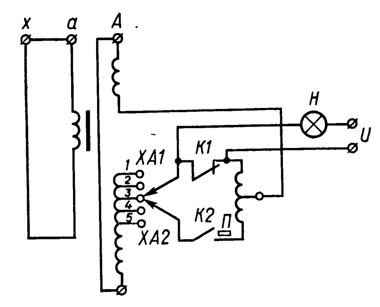


Рис. IX.11. Схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства без выведенной средней точки реактора:

XA1, *XA2* — контакты избирателя; *K1*, *K2* — контакты контактора; *H* — сигнальная лампа; *П* — изоляционная прокладка.

Круговая диаграмма реакторного переключающего устройства, не имеющего отдельного контактора, снимается по схеме, приведенной на рис. IX.12. На диаграмме (рис. IX.13) отмечены области замкнутого и разомкнутого состояний контактов избирателей *XA1* и *XA2* и нормальные положения *1—9* переключающего устройства. Перед снятием

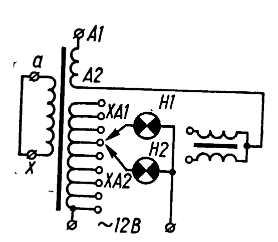


Рис. IX.12. Схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства без отдельного контактора:

XA1, *XA2* — контакты избирателя; *H1*, *H2*—сигнальные лампы.



Рис. IX.13. Круговая диаграмма переключающего устройства без контактора.

круговой диаграммы необходимо убедиться в нормальной работе механической части привода и регулировочного устройства прокручиванием переключающего устройства во всем диапазоне.

Круговые диаграммы снимаются при напряжении питания 220 В переменного тока или от аккумуляторной батареи 3—12 В. Из соображений техники безопасности при снятии круговых диаграмм неиспытываемые обмотки трансформатора закорачиваются. При анализе круговых диаграмм особое внимание следует обращать на длину отрезка β

(см. рис. IX.10), характеризующего угол перекрытия контактов. Для переключающего устройства типа РНТ-13 этот угол находится в пределах 25—30°, типа РНТ-18 — в пределах 15—30°, РНТ-20 — не менее 30°. Для переключающего устройства без контактора (типа РНТ-9) значение перекрытия на всех положениях избирателя должно быть не менее 3°.

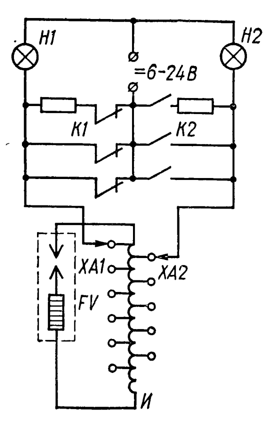


Рис. IX.14. Схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства типа РНОА:

K1, *K2* — контакты контактора; *XA1*, *XA2* — контакты избирателя; *H1*, *H2* — сигнальные лампы; *FV* — разрядник.

Для быстродействующих переключающих устройств с токоограничивающими сопротивлениями снимается круговая диаграмма совместной работы избирателей и контакторов и осциллографируется процесс работы контакторов. Круговая диаграмма снимается при переключении контактов избирателя на два положения независимо от числа оборотов выходного вала привода. На рис. IX.14 приведена схема снятия круговой диаграммы переключающего устройства типа РНОА. При снятии круговой диаграммы замыкание и размыкание контактов избирателей *XA1* и *XA2* фиксируются загоранием и погасанием соответственно ламп *H1* и *H2*, в остальных режимах лампы *H1* и *H2* горят, изменяя свой накал при срабатывании контактора.

На рис. IX.15 приведена схема включения вибратора для осциллографирования процесса работы контактора (*а*) и типовая осциллограмма работы контактов контактора переключающих устройств типа РНОА (РНТА) (*б*). Особое внимание следует обратить на продолжительность состояния переключателя в положении «мост» (интервал *Б—В*), которая во всех случаях для отечественных контакторов не допускается менее 9 мс. При наличии разрыва цепи тока, что практически означает неправильное чередование работы контактов контактора, и чрезмерном отклонении интервалов (*А—Б*, или *Б—В*, или *В—Г*) от нормы контактор бракуется и подвергается ревизии и ремонту.

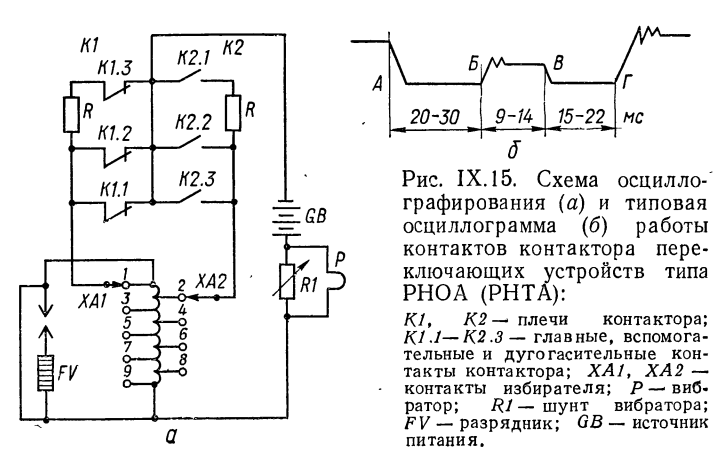


Рис. IX.15. Схема осциллографирования (*а*) и типовая осциллограмма (*б*) работы контактов контактора переключающих устройств типа РНОА (РНТА):

K1, *K2* — плечи контактора; *K1.1*—*K2.3* — главные, вспомогательные и дугогасительные контакты контактора; *XA1*, *XA2* — контакты избирателя; *P* — вибратор; *R1* — шунт вибратора; *FV* — разрядник; *GB* — источник питания.

Снятие круговых диаграмм методом осциллографа

Этим методом строят диаграммы на основании осциллограммы, полученной на магнитоэлектрическом осциллографе. Вибраторы осциллографа включают по тем же принципиальным схемам, что и сигнальные лампы. Осциллограммы рекомендуется снимать при питании цепи вибраторов осциллографа постоянным током при напряжении 6—24 В, скорость съемки 100 мм/с.

Для быстродействующих переключающих устройств диаграмму работы контактора и диаграмму совместной работы переключателя и контактора снимают раздельно при разных скоростях развертки осциллографа.

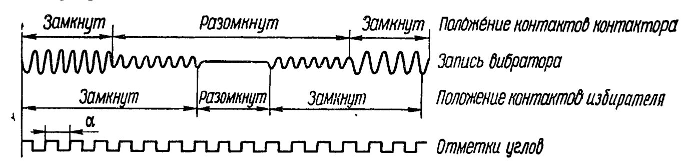


Рис. IX.16. Осциллограмма действия переключающего устройства.

Время срабатывания и продолжительность действия отдельных контактов определяют по вибратору для отсчета углов поворота вала переключающего устройства (рис. IX.16) и отметчику времени. Если отметчика времени нет, используется запись вибратора, включенного на напряжение промышленной частоты.

Для отсчета углов поворота вала переключающего устройства применяют коммутатор (типа коллектора), через который включают дополнительный вибратор осциллографа (рис. IX.17). Коммутатор устанавливают на приводном валу переключающего устройства. Вместо коммутатора можно использовать шестерню, установленную на валу переключающего устройства, или шестерню другого вала, связанного с первым зубчатой передачей. При вращении вала зубцы шестерни замыкают щеточный контакт, подавая импульсы тока через дополнительный вибратор.

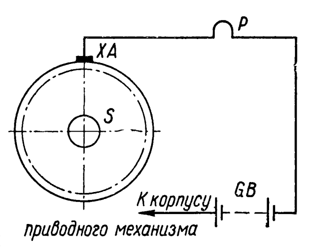


Рис. IX.17. Схема включения вибратора для отсчета углов поворота вала переключающего устройства:

S — коммутатор; *XA* — щеточный контакт; *P* — вибратор; *GB* — источник питания.

Угол, соответствующий расстоянию между двумя соседними отметками углов (см. рис. IX.16), определяют по формуле

$$\alpha = \frac{360}{z}\,\frac{n_{\text{ш}}}{n_{\text{в}}},$$

где z — число пластин коммутатора (или зубцов шестерни); $n_{\text{ш}}$— число оборотов шестерни за 1 мин; $n_{\text{в}}$— число оборотов вала переключателя за 1 мин.

Пуск осциллографа осуществляется вручную или автоматически одновременно с включением электродвигателя переключающего устройства. По снятым осциллограммам строят развернутые круговые

диаграммы. Переключающее устройство считают выдержавшим проверку последовательности действия его контактов, если значения углов перекрытия контактов, углов смещения и люфтов, полученные по круговым диаграммам, а для быстродействующих устройств значения времени замкнутого и разомкнутого состояний контактов, продолжительности вибрации контактов, определенные по осциллограммам, не выходят за пределы, указанные в стандартах или технических условиях на переключающее устройство.

Параллельная работа трансформаторов

В соответствии с ГОСТ 11677—75 допускается параллельная работа двухобмоточных трансформаторов между собой, трехобмоточных трансформаторов между собой, а также двухобмоточных с трехобмоточными, если предварительным расчетом установлено, что ни одна из обмоток параллельно соединенных трансформаторов не нагружается выше ее нагрузочной способности. Параллельная работа трансформаторов с отношением номинальных мощностей больше 3 : 1 не рекомендуется.

Для нормальной параллельной работы трансформаторов необходимо соблюдение следующих условий: 1) тождественность групп соединений обмоток; 2) равенство коэффициентов трансформации линейных напряжений при холостом ходе; 3) равенство напряжений короткого замыкания. Включение трансформаторов на параллельную работу допустимо только после предварительной фазировки.

При неодинаковых значениях коэффициентов трансформации трансформаторов вторичные их напряжения не равны друг другу и между ними в замкнутом контуре вторичных обмоток и в первичных обмотках уже при холостом ходе будут протекать уравнительные токи, обусловленные разностью вторичных напряжений. Значение уравнительного тока:

$$I_{у} = \frac{U_1 - U_2}{Z_{к1} + Z_{к2}},$$

где $U_1 - U_2$— разность вторичных напряжений; $Z_{к1}$ и $Z_{к2}$— сопротивления трансформаторов.

Трансформатор с более высоким вторичным напряжением принимает на себя бóльшую (в процентном отношении) нагрузку. При параллельной работе двух трансформаторов с одинаковыми напряжениями короткого замыкания нагрузки распределяются между трансформаторами пропорционально их мощностям. Если же напряжения короткого замыкания ($U_к$) различны, то нагрузка распределяется обратно пропорционально значениям $U_к$. Параллельная работа трансформаторов с разными $U_к$ допустима в тех случаях, когда ни один из них не перегружен.

Фазировка трансформаторов

Под фазировкой понимают проверку совпадения фаз вторичных напряжений у двух трансформаторов, включаемых на параллельную работу. Как правило, фазировка выполняется на низшем напряжении трансформаторов. На обмотках напряжением до 380 В включительно фазировка проводится вольтметром, до 10 кВ — с помощью указате-

лей напряжения, 20 кВ и выше — через измерительные трансформаторы напряжения.

Для получения замкнутого электрического контура при выполнении измерений фазируемые обмотки следует предварительно соединить в одной точке. У обмоток с заземленными нейтралями таким соединением является соединение нейтралей через землю; иное соединение недопустимо, так как соединение двух различных фаз приводит к короткому замыканию. У трансформаторов с изолированной нейтралью перед фазировкой соединяются любые два вывода фазируемых обмоток.

Фазировка заключается в измерении напряжений между выводами фазируемых обмоток и попарном нахождении выводов, между которыми напряжение равно нулю. При фазировке обмоток с заземленными нейтралями проводится девять измерений, с изолированными нейтралями — четыре.

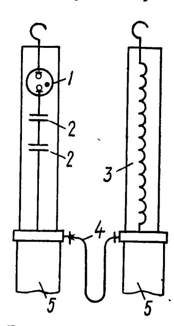


Рис. IX.18. Комплект для фазировки на напряжении 2—10 кВ:

1 — неоновая лампа; *2* — конденсаторы; *3* — резистор; *4* — провод ПВЛ или ПВГ; *5* — указатель напряжения.

Приборы для фазировки трансформаторов с изолированной нейтралью должны быть рассчитаны на двойное линейное напряжение. На напряжении до 10 кВ используют два указателя напряжения, в одном из которых вместо конденсатора и неоновой лампы встроены термостойкие резисторы (например, типа МЛТ-2) сопротивлением 2,5—3,5 МОм для напряжения 6 кВ и 6—7 МОм — для напряжения 10 кВ (рис. IX.18). Зажимы обоих указателей соединяют гибким проводом с усиленной изоляцией (типа ПВЛ или ПВГ). Перед фазировкой проверяют исправность указателя прикосновением к токоведущей части, находящейся под напряжением.

Фазируемые обмотки с изолированной нейтралью соединяют в одной точке либо включением одной фазы разъединителя, либо указателями напряжения или оперативными штангами, наконечники которых соединены проводом с усиленной изоляцией. Крючки указателя и трубки с сопротивлением приближают к зажимам, которые нужно фазировать.

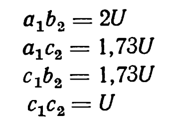
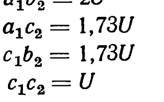
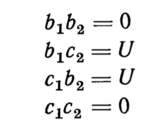
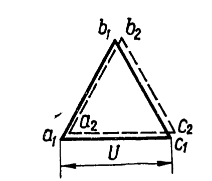
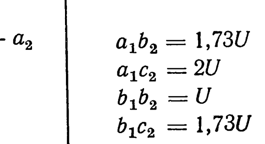
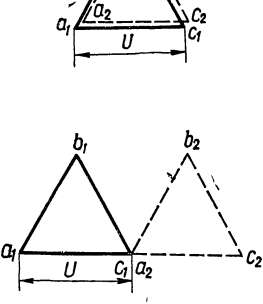
Измерения проводятся между теми зажимами, что и в случае низкого напряжения. Если указатель напряжения не светится, то для более точного определения разности потенциалов можно прикоснуться крюками трубок к зажимам, на которых проводится фазировка. Продолжительность свечения указателей ввиду малой термической устойчивости сопротивлений, вмонтированных в трубку, не должна превышать 10—15 с. Фазировку следует проводить с соблюдением мер безопасности при измерениях переносными приборами в установках напряжением выше 1000 В.

При фазировке на напряжении 20 кВ и выше через измерительные трансформаторы напряжения предварительно должна быть проверена фазировка трансформаторов напряжения подачей на них одного и того же напряжения. Выполняется фазировка через трансформаторы напряжения описанными выше методами на низком напряжении трансформаторов с заземленной нейтралью.

В табл. IX.8 приведены результаты измерений, векторные диаграммы по результатам измерений, а также оценка результатов измерений при фазировке трансформаторов с различными группами соединений обмоток при заземленной и изолированной нейтрали.

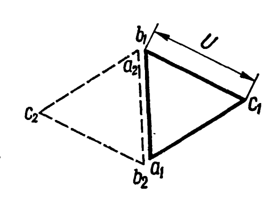
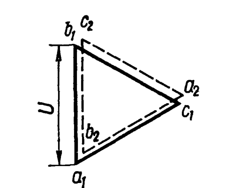
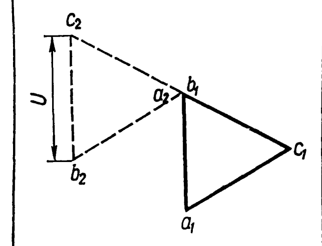
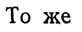
Таблица IX.8. **Векторные диаграммы напряжений трансформаторов при фазировке**

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Заземленные нейтрали обмоток или общий нулевой провод	Перемычка не ставится	$a_1a_2 = 1,15U$ $a_1b_2 = 0,58U$ $a_1c_2 = 0,58U$ $b_1a_2 = 0,58U$ $b_1b_2 = 1,15U$ $b_1c_2 = 0,58U$	0,58U, 1,15U, U; a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2	Трансформаторы имеют разные группы соединений, векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 180°. Для параллельной работы необходимо пересоединить подводимые концы к трансформатору (с нечетными группами соединений) со стороны высокого и низкого напряжений
	То же	$a_1a_2 = 0,3U$ $a_1b_2 = 0,8U$ $a_1c_2 = 1,1U$ $b_1a_2 = 1,1U$ $b_1b_2 = 0,8U$ $b_1c_2 = 0,8U$	0,8U, 0,3U, 1,1U; a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2	Параллельная работа невозможна, трансформаторы имеют разные группы соединений, векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 30°
	»	$a_1a_2 = 0$ $a_1b_2 = U$ $a_1c_2 = U$ $b_1a_2 = U$ $b_1b_2 = 0$ $b_1c_2 = U$	U; a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2	Для параллельной работы соединить выводы a_1 и a_2, b_1 и b_2, c_1 и c_2. Трансформаторы имеют одинаковые группы соединений

Изолированные нейтрали обмоток	$b_1 - a_2$	  $a_1b_2 = 2U$ $a_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 1{,}73U$ $c_1c_2 = U$		То же
	$a_1 - a_2$	 $b_1b_2 = 0$ $b_1c_2 = U$ $c_1b_2 = U$ $c_1c_2 = 0$		» »
	$c_1 - a_2$	 $a_1b_2 = 1{,}73U$ $a_1c_2 = 2U$ $b_1b_2 = U$ $b_1c_2 = 1{,}73U$		» »

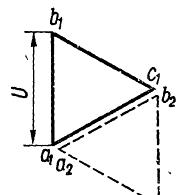
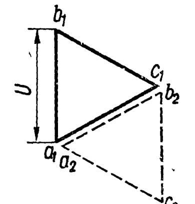
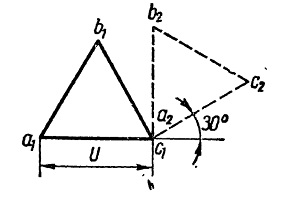
Продолжение табл. IX.8

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Изолированные нейтрали обмоток	$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = U$ $a_1c_2 = 0$ $b_1b_2 = 1{,}73U$ $b_1c_2 = U$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, и векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 180°. Параллельная работа возможна между трансформаторами нечетных групп при соответствующем пересоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого и низкого напряжений
	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 2U$ $b_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 1{,}73U$ $c_1c_2 = 2U$		То же

$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = 0$ $a_1c_2 = U$ $c_1b_2 = U$ $c_1c_2 = 1{,}73U$		 » »
$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = 0$ $a_1c_2 = U$ $b_1b_2 = U$ $b_1c_2 = 0$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, и векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 120 °. Параллельная работа возможна при соответствующем пересоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого или низкого напряжения
$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = U$ $a_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 1{,}73U$ $c_1c_2 = 2U$		 То же

Продолжение табл. IX.8

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Изолированные нейтрали обмоток	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 1{,}73U$ $b_1c_2 = U$ $c_1b_2 = 2U$ $c_1c_2 = 1{,}73U$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, и векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 120°. Параллельная работа возможна при соответствующем пересоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого или низкого напряжения
	$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = 2U$ $a_1c_2 = 1{,}73U$ $b_1b_2 = 1{,}73U$ $b_1c_2 = 2U$		Трансформаторы имеют разные группы соединений, и векторы напряжений сдвинуты на 60°. Параллельная работа возможна между трансформаторами нечетных групп при соответствующем пересоединении подводимых концов к трансформатору со стороны высокого и низкого напряжений

$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = 1{,}73U$ $a_1c_2 = U$ $c_1b_2 = U$ $c_1c_2 = 0$		То же
$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = U$ $b_1c_2 = 1{,}73U$ $c_1b_2 = 0$ $c_1c_2 = U$		» »
$c_1 - a_2$	$a_1b_2 = 1{,}4U$ $a_1c_2 = 1{,}9U$ $b_1b_2 = 0{,}5U$ $b_1c_2 = 1{,}4U$		Параллельная работа невозможна, так как трансформаторы имеют разные группы соединений: векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 30°

Режим работы нейтрали	Выводы, соединяемые перемычкой	Результаты измерений между выводами	Векторная диаграмма напряжений по измерениям	Оценка результатов измерений
Изолированные нейтрали обмоток	$a_1 - a_2$	$b_1b_2 = 0{,}5U$ $b_1c_2 = 0{,}5U$ $c_1b_2 = 1{,}4U$ $c_1c_2 = 0{,}5U$	b_2, b_1, U, $30°$, c_2, a_2, a_1, c_1	Параллельная работа невозможна, так как трансформаторы имеют разные группы соединений; векторы напряжений вторичных обмоток сдвинуты на 30°
	$b_1 - a_2$	$a_1b_2 = 1{,}9U$ $a_1c_2 = 1{,}9U$ $c_1b_2 = 1{,}9U$ $c_1c_2 = 1{,}4U$	b_2, c_2, a_2, U, b_1, a_1, c_1	То же

Глава X

СТАТИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Согласно ПУЭ, к комплектным статическим преобразователям относятся ионные (с ртутными вентилями), полупроводниковые неуправляемые (с диодами) и управляемые (с тиристорами) преобразователи.

В объем испытания преобразователей входят следующие работы.

1. Измерение сопротивления изоляции элементов и цепей.
2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции.
3. Проверка всех видов защит (см. гл. XVI, XVII).
4. Испытание преобразовательного трансформатора и реакторов (см. гл. IX).
5. Проверка зажигания.
6. Проверка фазировки.
7. Проверка системы охлаждения.
8. Проверка диапазона регулирования выпрямленного выходного напряжения.
9. Измерение статического уравнительного тока.
10. Проверка работы под нагрузкой.
11. Проверка параллельной работы преобразователей.

Ртутные (ионные) преобразователи

При наладке ртутных преобразователей кроме указанных выше испытаний проводятся: внешний осмотр, предпусковая формовка током анодов возбуждения, проверка падения напряжения в дуге, проверка равномерности загрузки анодов всех фаз, проверка системы сеточного управления.

При внешнем осмотре проверяется соответствие установки ртутных вентилей (РВ) заводской инструкции. Стеклянные РВ устанавливаются на эластичной подвеске строго вертикально; место крепления колбы прокладывается асбестом; контактные соединения (особенно на анодах) должны быть надежными и плотными; соединительные провода у электродов РВ подвешиваются свободно. В металлических вентилях проверяется состояние деталей, изолирующих бак от тележки (или фундамента), качество выполнения первичной и вторичной коммутации, а также чистота всех деталей.

Сопротивление изоляции между электродами измеряется мегомметром на 1000 В при отключенных от вентиля проводах и кабелях и температуре корпуса не выше 25 °С. Измеряется сопротивление изоляции главных анодов относительно корпуса и сеток, анодов возбуждения относительно корпуса, сетки относительно корпуса, катода относитель-

Таблица X.1. **Значения испытательного напряжения промышленной частоты для элементов ртутных преобразователей**

Испытываемые узлы и цепи	Узлы, по отношению к которым испытывают изоляцию	Испытательное напряжение, В, для схем	
		нулевых	мостовых
Цепи, связанные с анодами	Заземленные детали	$2{,}25U_d + 3750$	$1{,}025U_d + 3750$
Катоды и корпусы вентилей и цепи, связанные с катодами, расположенные в шкафах	То же	$1{,}5U_d + 750$	$1{,}025U_d + 3750$
Рамы	» »		$1{,}5U_d + 750$
Вторичные обмотки вспомогательных трансформаторов и цепи, связанные с ними	Первичные обмотки вспомогательных трансформаторов и цепи, связанные с ними, а также заземленные детали	$1{,}5U_d + 750$ (но не менее 2250)	$1{,}025U_d + 3750$
Вентильные обмотки преобразовательных трансформаторов и их выводы	Корпус и другие обмотки	$2{,}25U_d + 3750$	$1{,}025U_d + 3750$
Уравнительные реакторы (обмотки и выводы) и вторичные обмотки утроителей частоты	Корпус	$2{,}25U_d + 3750$	—
Ветви уравнительного реактора	По отношению друг к другу	$1{,}025U_d + 750$	—
Анодные делители (обмотки и выводы)	Корпус или заземленные детали	$2{,}25U_d + 3750$	$1{,}025U_d + 3750$

Примечание. U_d — напряжение холостого хода преобразовательного агрегата.

но корпуса. Все сопротивления должны быть не ниже 10 МОм, за исключением промежутка катод — корпус, где для экситронов допускается сопротивление изоляции ~ 100 кОм (в игнитронах катод от корпуса не изолирован). Результаты измерений сопротивления изоляции следует сравнить с данными завода-изготовителя.

Проводится испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции элементов преобразовательного агрегата. В табл. X.1 приведены значения заводских испытательных напряжений. Продолжительность испытания 1 мин.

Системы зажигания и возбуждения настраиваются в соответствии со схемой управления с соблюдением особой осторожности, так как

повреждение любой встроенной детали требует капитальной ревизии выпрямителя. В связи с этим схему предварительно испытывают и настраивают при отключенных электродах; необходимо предусмотреть защиту от недопустимого перегревания при отказе отдельных элементов схемы. При настройке проверяют правильность сборки схемы, полярность трансформаторов, проводят измерение и испытание сопро-

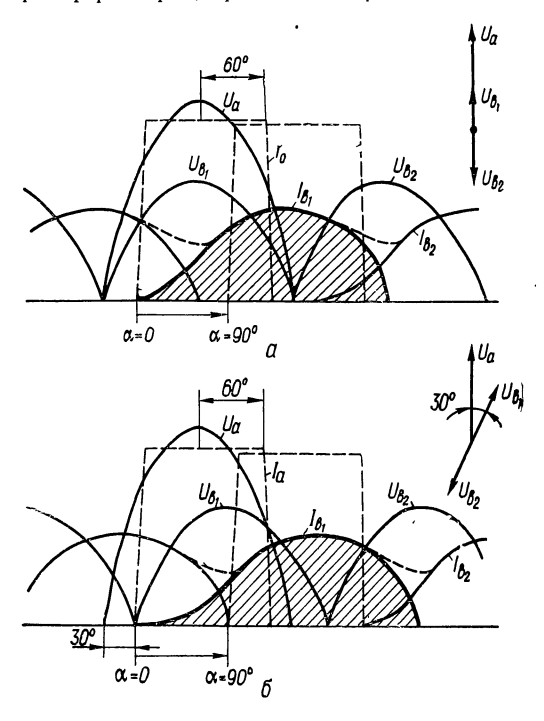


Рис. X.1. Фазировка возбуждения вентилей преобразователей:

а — анодное напряжение в фазе с напряжением возбуждения; *б* — напряжение сдвинуто на 30°; $U_а$ — анодное напряжение; $U_{в1}$, $U_{в2}$ — напряжения возбуждения; $I_а$ — анодный ток; $I_{в1}$, $I_{в2}$ — токи анодов возбуждения; α — угол регулирования.

тивления всех элементов и схемы в целом, измеряют сопротивления постоянному току катушек, реостатов, проверяют исправность конденсаторов, настраивают релейно-контакторную аппаратуру.

После окончания настройки системы зажигания и возбуждения выполняется фазировка анодов возбуждения с главными анодами. Для экситронов с двумя анодами возбуждения фазировка должна быть выполнена так, чтобы в момент погасания главного анода значение тока возбуждения было близко к максимальному (рис. X.1). Сдвиг фаз между напряжениями главных анодов и анодов возбуждения определяется группами соединения трансформаторов и может быть различным, но обязательно кратным 30°. Путем круговой перестановки фаз и из-

менения направления включения обмоток трансформаторов возбуждения все случаи можно свести к двум: 1) шестифазная система напряжений анодов возбуждения находится в фазе с системой главных анодов; 2) системы сдвинуты на 30°.

Фазировку можно выполнить вольтметром или осциллографом. При использовании шлейфового осциллографа на один вибратор подается напряжение главного анода, на другой — напряжение анода возбуждения того же вентиля. Электронный осциллограф позволяет просматривать кривые последовательно (осциллограф синхронизируется по сети).

Для игнитронов момент поджога выбирается с некоторым опережением (на 5—7°) по отношению к моменту зажигания главного анода при минимальном угле регулирования. Время горения подхватывающего анода должно быть несколько больше полного диапазона регулирования с учетом того, чтобы главный анод мог быть зажжен при максимальном угле регулирования.

После окончания фазировки РВ возбуждают, проверяют четкость работы системы зажигания и возбуждения и измеряют токи возбуждения каждого вентиля.

Состояние вакуума в стеклянных РВ можно оценить по цвету дуги: при хорошем вакууме дуга имеет сине-фиолетовый цвет; с ухудшением вакуума появляются оранжевые оттенки. Состояние вакуума в металлических вентилях можно определить, измерив падение напряжения в дуге.

Формовка вентилей проводится по заводской инструкции. Для многих стеклянных и запаянных металлических вентилей предпусковая формовка сводится к поддержанию длительного горения анодов возбуждения.

Фазировку сеточных и анодных напряжений рекомендуется выполнять в следующем порядке.

1. Измерить значение и проверить порядок чередования фаз анодных напряжений. Измерения проводить непосредственно на анодах вентилей. Если значение анодных напряжений не допускает непосредственного подключения приборов, использовать делитель, собираемый из активных сопротивлений. Для фазных и междуфазных напряжений главных анодов в шестифазной схеме справедливы соотношения:

$$U_{1-0} = U_{2-0} = U_{3-0} = U_{4-0} = U_{5-0} = U_{6-0};$$
$$U_{1-2} = U_{2-3} = U_{3-4} = U_{4-5} = U_{5-6} = U_{6-1};$$
$$U_{1-3} = U_{1-5} = U_{2-4} = U_{2-6} = U_{3-5} = U_{4-6};$$
$$U_{1-4} = U_{2-5} = U_{3-6};$$
$$U_{1-0} = U_{1-2} = U_{2-0} = U_{2-3} = U_{3-0} = U_{3-4} = \dots;$$
$$U_{1-3} = \sqrt{3}\, U_{1-0} = \sqrt{3}\, U_{1-2} = U_{2-4} = \sqrt{3}\, U_{2-0} = \dots;$$
$$U_{1-4} = 2U_{1-0} = 2U_{1-2} = U_{2-5} = 2U_{2-0} = 2U_{2-3} = \dots$$

2. Проверить форму, величину и порядок чередования импульсов сеточных напряжений непосредственно на сеточных вводах вентилей.

3. Наблюдая с помощью осциллографа анодное напряжение вентиля, определить правильное положение сеточного импульса для одной точки диапазона (например, для угла $\alpha = 0$). С помощью фазосдвигающего устройства сдвинуть сеточные импульсы в крайнее переднее положение ($\alpha = 0$). Переключить осциллограф с анода на сетку вентиля и, наблюдая сеточный импульс, установить его в нужное положение посредством фазорегулятора или переключением первичных обмоток трансформатора, питающего систему сеточного управления.

Если необходимо сдвинуть сеточные импульсы на 120°, то следует выполнить круговую перестановку на зажимах питания системы или на сетках вентилей (в шестифазных схемах перестановкой на сетках можно получить сдвиг и на 60°).

4. Поочередным подключением осциллографа к анодам и сеткам всех вентилей проверяется правильность фазировки для всех вентилей. Фазировку можно выполнить без осциллографа с помощью вольтметра и фазоуказателя. Для этого необходимо сделать следующее. С помощью фазосдвигающего устройства устанавливают угол сдвига фаз, близкий к нулю.

Если напряжение главных анодов значительно (более чем в два раза) отличается от значения сеточных импульсов, между одним из анодов и нулевой точкой включают потенциометр (делитель напряжения) или трансформатор напряжения. В последнем случае соответствующий вывод вторичной обмотки трансформатора напряжения соединяют с нулевой точкой так, чтобы направления векторов фазного напряжения РВ и вторичной обмотки трансформатора напряжения совпали.

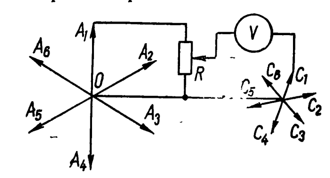


Рис. X.2. Фазировка сеток и анодов с помощью вольтметра и делителя напряжения.

Между движком потенциометра или фазным выводом вторичной обмотки трансформатора напряжения, с одной стороны, и поочередно между всеми сеточными электродами, с другой, включают вольтметр (желательно с большим внутренним сопротивлением).

На сетке, одноименной с выбранным анодом, показания вольтметра наименьшие. На двух соседних с первой сеткой показания выше и притом равны друг другу. Если показания не равны, следует изменить положение фазосдвигающего устройства и повторить измерения. На следующих двух сетках напряжения также равны друг другу и больше, чем предыдущие. На последней сетке, диаметрально противоположной первой, напряжение наибольшее (рис. X.2).

5. Для проверки указанные операции следует повторить еще для одного-двух главных анодов.

При работе вентилей под нагрузкой измеряется распределение токов между вентилями преобразователя. Такую проверку удобно выполнять токоизмерительными клещами, которыми поочередно охватывают анодные выводы вентилей. В начале формовки допустима неравномерность около 20 %, а в конце — 5 %. Допустимая неравномерность токовой загрузки у вентилей, находящихся в эксплуатации, близка к 10 %.

Таблица X.2. **Падение напряжения в дуге РВ, В**

Номинальный ток вентиля, А	Максимальное значение обратного напряжения, кВ			
	до 2,5	5	10	15
50 и 100	18	—	—	—
200 и 250	20	—	23	25
300	—	23	—	—
500	21	24	—	—
1000	23	—	—	—

Для оценки состояния вакуума вентиля производится **измерение падения напряжения в дуге** $U_д$. Для одноанодных вентилей падение напряжения в дуге не превышает значений, приведенных в табл. X.2. Для многоанодных вентилей падение напряжения в дуге не превышает 20 В. Разброс для вентилей одного типа составляет не более 2 В. Применяется схема измерения падения напряжения в вентиле методом ваттметра (рис. X.3). При этом требуется, чтобы: а) падение напряжения на полупроводниковом вентиле *VD1*, включенном во вторичную цепь трансформатора тока, не превышало 1 В; б) отношение среднего тока первичной обмотки трансформатора тока к среднему току вторичной обмотки отличалось от номинального коэффициента трансформации не более чем на 3 %; в) при измерении использовался амперметр магнито-

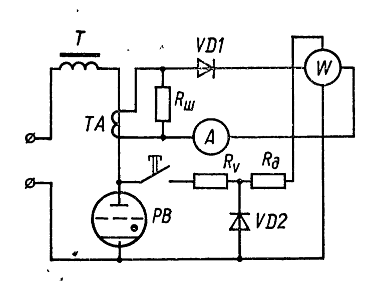


Рис. X.3. Схема измерения падения напряжения в дуге РВ.

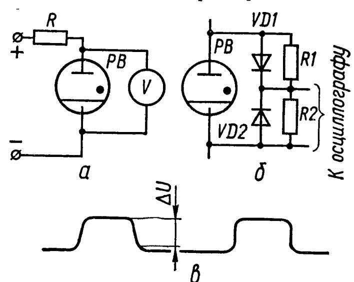


Рис. X.4. Измерение падения напряжения в дуге ртутного вентиля:

а — схема измерения на постоянном токе; *б* — схема измерения при питании от сети переменного тока; *в* — форма кривой на экране осциллографа; *VD1*, *VD2*, *R1*, *R2* — вентили сопротивления измерительной схемы

электрической системы класса точности 0,2—0,5; г) ваттметр имел такие пределы измерения: по току 2,5—5 А, по напряжению 75—600 В. Прибор должен быть пригоден для измерений в цепях с коэффициентом мощности 0,1—0,3, защищен от внешних электромагнитных полей.

Падение напряжения в дуге $U_д$ по показаниям ваттметра и амперметра определяется из соотношения

$$U_д = \frac{P}{I}\left(\frac{R_w + R_v}{R_w}\right) \text{ [В]}.$$

Здесь $R_w = R + R_{доб}$ [Ом], причем R — сопротивление обмотки напряжения ваттметра; $R_{доб}$ — добавочное сопротивление ваттметра; R_v — сопротивление, ограничивающее ток в полупроводниковом вентиле *VD2*.

В практике наладочных работ падение напряжения в дуге измеряется вольтметром (рис. X.4,*а*) или осциллографом (рис. X.4,*б*). Перед измерением вентиль прогревается до температуры примерно 40 °С.

При измерении вольтметром питание вентиля осуществляется от сети переменного тока по постоянной рабочей схеме. Показанная на рис. X.4,*б* схема измерений позволяет подавать на вход осциллографа только падение напряжения в дуге, так как при обратном напряжении вентиль *VD2* шунтирует вход осциллографа. Кривая, наблюдаемая на экране осциллографа, показана на рис. X.4,*в*.

При измерении электронным осциллографом корпус последнего находится под напряжением и проводить измерения можно только стоя на изолирующем основании и с соблюдением всех мер техники

безопасности. Корпус осциллографа также необходимо изолировать от земли, а при напряжениях в несколько сотен вольт, опасных для внутренней изоляции осциллографа, его питание осуществляется через изолирующий трансформатор. Проверка системы охлаждения ртутных вентилей производится в соответствии с инструкциями завода-изготовителя. Проверка диапазона регулирования выпрямленного напряжения производится при подаче на сетки вентилей управляющих сигналов от системы импульсно-фазового управления (СИФУ). Диапазон регулирования должен соответствовать данным завода-изготовителя. Изменение выпрямленного напряжения должно происходить плавно.

Для настройки системы управления РВ снимается **регулировочная характеристика** (рис. X.5), являющаяся зависимостью выпрямленного напряжения РВ U_d от угла фазного напряжения смещения сеток α.

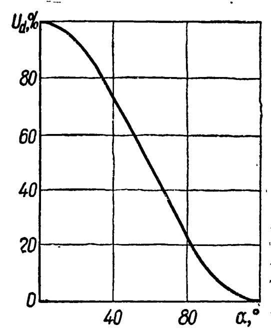


Рис. X.5. Регулировочная характеристика РВ $U_d = f(\alpha)$.

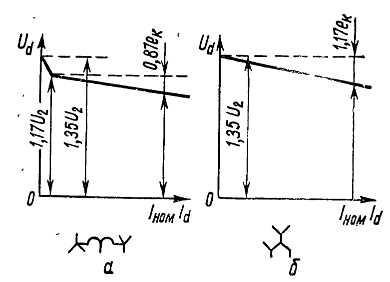


Рис. X.6. Внешние характеристики РВ:

а — соединение вторичных обмоток трансформатора в две звезды с уравнительным реактором; *б* — соединение в двойной зигзаг.

При снятии этой характеристики выпрямитель должен быть включен на балластное сопротивление, обеспечивающее протекание через РВ не менее 0,1 номинального тока. По характеру нагрузка должна соответствовать реальной.

Выпрямленное напряжение измеряют магнитоэлектрическим вольтметром класса точности 0,5; контроль желательно осуществлять электронным осциллографом.

Угол фазного смещения определяется либо как величина, пропорциональная углу поворота ротора электромашинного фазовращателя (на валу укрепляется стрелка, а на статоре — шкала угловых градусов), либо как входная величина статического фазовращателя с последующим переводом ее в углы смещения по фазовой характеристике системы сеточного управления.

Измерение статического уравнительного тока производят во всем диапазоне регулирования. Он не должен превышать значение, предусмотренное проектом.

Проверку работы преобразователя под нагрузкой производят при подключении либо приемников электроэнергии, либо специальных нагрузочных сопротивлений. Для регулируемых преобразователей проверка производится во всем диапазоне регулирования. С помощью токоизмерительных клещей проверяют равномерность распределения токов между фазами и параллельно включенными вентилями преобразователя. Если токи отличаются по фазам более чем на

Таблица X.3. **Основные соотношения схем выпрямления**

Схема соединения	Выпрямленное напряжение U_d	Вторичное напряжение трансформатора U_2
Однополупериодное однотактное выпрямление	$0{,}45U_2$	$2{,}22U_d$
Двухполупериодное однотактное выпрямление	$0{,}9U_2$	$1{,}11U_d$
Двухполупериодное двухтактное выпрямление	$0{,}9U_2$	$1{,}11U_d$
Трехфазная однотактная схема с нулевым выводом при соединении вторичной обмотки в звезду	$1{,}17U_2$	$0{,}855U_d$
Трехфазная однотактная схема с нулевым выводом при соединении вторичной обмотки в зигзаг	$1{,}17U_2$	$0{,}855U_d$
Трехфазная двухтактная мостовая схема	$2{,}34U_2$	$0{,}427U_d$

Амплитудное значение обратного напряжения $U_{в\ макс}$	Выпрямленный ток I_d	Ток вторичной обмотки трансформатора I_2	Ток первичной обмотки трансформатора I_1	Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора P_1	Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора P_2	Типовая мощность трансформатора $P_т$
$3{,}14U_d$	$0{,}638I_2$	$1{,}57I_d$	$\frac{1{,}21}{k} I_d$	$2{,}69P_d$	$3{,}49P_d$	$3{,}09P_d$
$3{,}14U_d$	$1{,}27I_2$	$0{,}79I_d$	$\frac{1{,}11}{k} I_d$	$1{,}23P_d$	$1{,}74P_d$	$1{,}48P_d$
$1{,}57U_d$	$1{,}11I_2$	$0{,}9I_d$	$\frac{1{,}11}{k} I_d$	$1{,}23P_d$	$1{,}23P_d$	$1{,}23P_d$
$2{,}09U_d$	$1{,}73I_2$	$0{,}58I_d$	$\frac{0{,}47}{k} I_d$	$1{,}21P_d$	$1{,}48P_d$	$1{,}34P_d$
$2{,}09U_d$	$1{,}73I_2$	$0{,}58I_d$	$\frac{0{,}47}{k} I_d$	$1{,}21P_d$	$1{,}71P_d$	$1{,}46P_d$
$1{,}04U_d$	$1{,}23I_2$	$0{,}81I_d$	$\frac{0{,}82}{k} I_d$	$1{,}04P_d$	$1{,}04P_d$	$1{,}04P_d$

Схема соединения	Выпрямленное напряжение U_d	Вторичное напряжение трансформатора U_2
Шестифазная схема с соединением вторичных обмоток в звезду	$1{,}35U_2$	$0{,}74U_d$
То же с соединением вторичных обмоток в две обратные звезды с разделительной катушкой	$1{,}17U_2$	$0{,}855U_d$
То же с соединением вторичных обмоток трансформатора в двойной зигзаг	$1{,}35U_2$	$0{,}74U_d$

Примечания. 1. При расчете напряжения U_d для ртутных выпрямителей сле
2. В таблице принято: k — коэффициент выпрямительного трансформатора, P_d — от

10 %, следует проверить симметричность сеточных импульсов и при необходимости устранить чрезмерную асимметрию их.

Равномерное распределение токов между вентилями (с погрешностью ± 7,5 % среднего значения) должны обеспечивать анодные делители.

При необходимости снимают внешнюю характеристику преобразователя.

Внешняя характеристика представляет собой зависимость выпрямленного напряжения РВ от его тока нагрузки. Ток и напряжение измеряют магнитоэлектрическими приборами класса 0,5 (или 0,2). Если естественная нагрузка не позволяет плавно изменять ток РВ, на время снятия характеристики его можно включить на реостат (чаще всего водяной).

На рис. X.6 показаны внешние характеристики РВ, питаемых при соединении вторичных обмоток трансформатора в две обратные звезды с уравнительным реактором и при соединении их в двойной зигзаг.

Амплитудное значение обратного напряжения $U_{в\ макс}$	Выпрямленный ток I_d	Ток вторичной обмотки трансформатора I_2	Ток первичной обмотки трансформатора I_1	Расчетная мощность первичной обмотки трансформатора P_1	Расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора P_2	Типовая мощность трансформатора $P_т$
$2{,}1U_d$	$2{,}45I_2$	$0{,}41I_d$	$\frac{0{,}58}{k} I_d$	$1{,}28P_d$	$1{,}81P_d$	$1{,}55P_d$
$2{,}1U_d$	$3{,}46I_2$	$0{,}29I_d$	$\frac{0{,}41}{k} I_d$	$1{,}04P_d$	$1{,}48P_d$	$1{,}26P_d$
$2{,}1U_d$	$2{,}45I_2$	$0{,}41I_d$	$\frac{0{,}82}{k} I_d$	$1{,}04P_d$	$1{,}79P_d$	$1{,}42P_d$

дует учесть падение в дуге выпрямителя ΔU_d, принимаемое равным 20—25 В. даваемая выпрямителем мощность, $P_d = U_d I_d$.

Проверку параллельной работы преобразователей проводят с целью обеспечения устойчивого распределения нагрузки в соответствии с параметрами агрегатов.

В табл. X.3 приведены основные соотношения электрических величин для наиболее распространенных схем выпрямления.

Наладка системы сеточного управления РВ

При наладке системы сеточного управления РВ проверяют изоляцию цепей системы, значение и полярность запирающего напряжения, форму сеточных импульсов и диапазон фазового регулирования.

До подачи напряжения на любую систему сеточного управления выполняются следующие работы: 1) проверка правильности сборки схемы; 2) измерение сопротивления изоляции элементов схемы; 3) про-

верка исправности элементов схемы (сопротивлений, конденсаторов, дросселей, трансформаторов, полупроводниковых приборов).

При проверке элементов схемы измеряют все сопротивления, а для регулируемых —также надежность подвижного контакта. При проверке трансформаторов и дросселей измеряют омическое сопротивление обмоток, проверяют их полярность и сопротивление изоляции между обмотками. Чтобы проверить конденсаторы, один полюс их отключают от схемы и заряжают с помощью мегомметра (напряжение мегомметра должно быть не более допустимого для испытываемого конденсатора), а затем разряжают путем замыкания накоротко (при проверке электролитических конденсаторов мегомметр к ним подключают с соблюдением полярности, указанной на конденсаторе). Об исправности конденсатора судят по характерному щелчку при разряде. Конденсаторы малой емкости такого щелчка не дают; их проверяют с помощью мегомметра на отсутствие пробоя.

Полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы) проверяют на отсутствие пробоя или обрыва (если в схеме есть шунтирующие цепи, то на время проверки проверяемые приборы, как и сопротивления, отсоединяются от схемы).

В качестве примера рассмотрим методику наладки некоторых систем сеточного управления.

Система завода «Уралэлектротяжмаш» (УЭТМ)

Система УЭТМ состоит из фазовращающего устройства и генератора сеточных импульсов. Статическое фазосдвигающее устройство представляет собой мостовую схему, двумя плечами которой являются

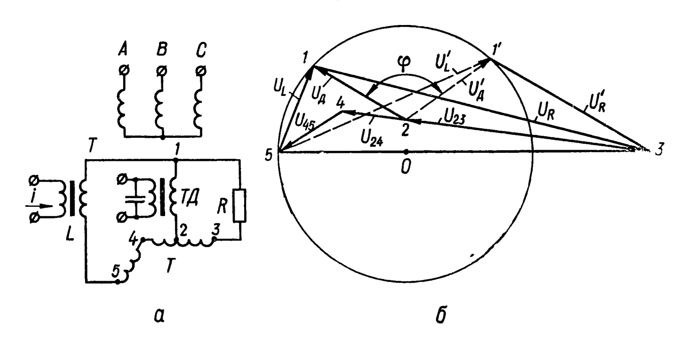


Рис. X.7. Фазосдвигающее устройство с расширенным диапазоном:

а — схема одной фазы; *б* —векторная диаграмма; *T* — питающий трансформатор; *ТД* — диагональный трансформатор: *L* — регулируемая индуктивность; *R* — сопротивление моста; U_{23}, U_{24}, U_{45} — напряжение питания моста; U_R, U_L — напряжения на активном и индуктивном плечах моста; $U_Д$ — напряжение выхода моста.

неравные по числу витков вторичные обмотки трансформатора *T* (рис. X.7,*а*), а двумя другими — постоянное активное сопротивление *R* и переменная индуктивность *L*. Для расширения диапазона регулирования первые два плеча каждой фазы фазосдвигающего устройства образованы обмотками двух фаз трансформатора *T*. Индуктивность дросселя регулируется путем подмагничивания постоянным током.

При изменении подмагничивающего тока изменяется распределение напряжений между активным и индуктивным сопротивлениями плеч моста. Характер этого изменения описывается круговой диаграммой (рис. X.7,*б*). Выходное напряжение моста, снимаемое с точек 1—2 диагонали моста при изменении значения подмагничивания, изменяется по фазе, оставаясь практически неизменным по значению.

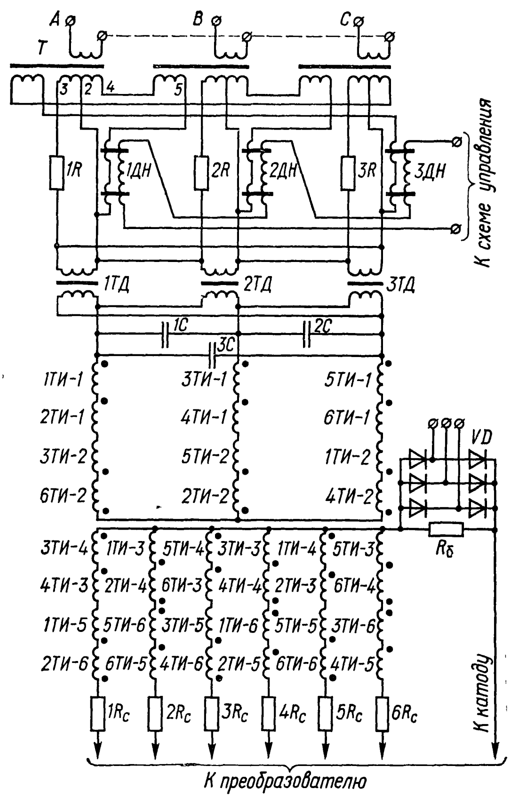


Рис. X.8. Упрощенная схема сеточного управления завода УЭТМ:

Т — трансформатор питания; *1ТД* — *3ТД* — трансформаторы диагональные; *1ТИ* — *6ТИ* — трансформаторы импульсные; R_c — сеточные сопротивления; *VD* — выпрямитель смещения; $R_б$ — балластное сопротивление; *ТИ* — обмотки пик-трансформаторов (*ТИ-1* — первичные многовитковые; *ТИ-2* — первичные маловитковые; *ТИ-3* — *ТИ-6* — вторичные).

Рабочий диапазон фазового сдвига фазосдвигающего устройства составляет 145—160°.

Выходное напряжение через изолирующие диагональные трансформаторы (ТД) подается на устройство генерации сеточных импульсов — пик-генератор, в котором осуществляется преобразование синусоидального напряжения в напряжение в виде пика определенной

амплитуды, продолжительности и крутизны фронта. Схема пик-генератора состоит из шести однофазных насыщающихся трансформаторов, каждый из которых имеет по две первичные и четыре вторичные обмотки. В обмотках, находящихся на одном и том же сердечнике, протекают токи двух фаз в противоположных направлениях.

Формирование сеточного импульса осуществляется суммированием ЭДС, индуктируемых во вторичных обмотках четырех пик-трансформаторов. Суммарный импульс имеет высоту около 260 В, ширину у основания около 150°, а на высоте напряжения смещения — 120°. Упрощенная схема сеточного управления завода УЭТМ приведена на рис. X.8.

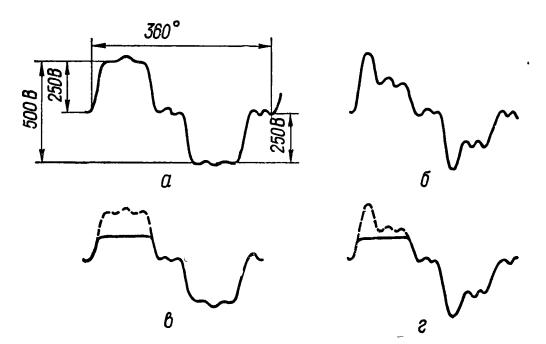


Рис. X.9. Форма сеточного импульса системы УЭТМ:

а — импульс пик-генератора типа ПГ-2-120 без нагрузки; *б* — импульс пик-генератора типа ПГ-3-120 без нагрузки; *в*, *г* — импульсы тех же генераторов под нагрузкой (вентиль возбужден).

Наладка системы сеточного управления проводится в следующем порядке. После проверки исправности элементов схемы и правильности выполнения монтажа на систему сеточного управления при отключенном возбуждении РВ подается напряжение и проверяется фазоуказателем чередование фаз. При первом включении системы электронным осциллографом проверяется форма и величина импульсов напряжения на ее выходе (рис. X.9). Перед измерениями проводится калибровка осциллографа по вертикальной (напряжение) и горизонтальной (время) осям. Калибровку осциллографа можно осуществлять либо от напряжения сети, либо от внутреннего источника калибровочного напряжения. В первом случае (рис. X.10,*а*) переключатель синхронизации устанавливают в положение синхронизации по сети, на вход осциллографа подают известное напряжение и, регулируя усиление осциллографа по вертикали, устанавливают удобный для отсчетов размах кривой напряжения на экране и определяют цену деления (масштаб) сетки осциллографа в вольтах. При определении полярности подключения напряжения калибровки следует учитывать, что один из входных зажимов осциллографа связан с его корпусом.

При калибровке осциллографа, имеющего внутренний источник калибровочного напряжения, на вход осциллографа подают напряжение от специального зажима (рис. X.10,*б*). Собственное калибровочное напряжение невелико (около 6 В), после калибровки же цену деления сетки изменяют в 10 или 100 раз с помощью переключателя осциллографа. Собственное калибровочное напряжение следует измерять

вольтметром с большим внутренним сопротивлением, причем в процессе калибровки его нельзя отключать, так как это приведет к увеличению калибровочного напряжения.

Калибровка по горизонтальной оси выполняется одновременно с калибровкой по вертикали. Для этого кривая поданного на вход осциллографа напряжения растягивается (рукоятками развертки и усиления) по горизонтали до получения удобной цены деления сетки осциллографа. После калибровки осциллографа на его вход подаются выходные импульсы пик-генератора. Проверяются форма, величина и фазовый сдвиг по отношению друг к другу импульсов разных фаз. Фазовый сдвиг измеряется по переднему фронту импульса на высоте запирающего напряжения, соответствующей примерно середине высоты переднего фронта.

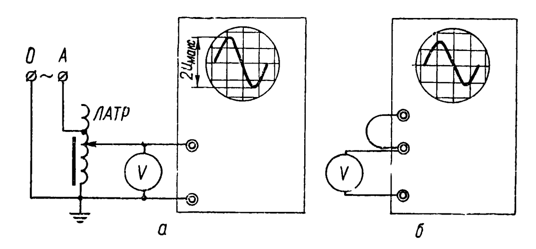


Рис. X.10. Схема калибровки осциллографа:

а — калибровка внешним напряжением; *б* — калибровка внутренним напряжением.

Искажение формы импульсов свидетельствует о неправильном чередовании фаз питающего напряжения или об ошибках, допущенных при проверке правильности схемы и исправности ее элементов. В этом случае следует проверить фазосдвигающее устройство при отключенном пик-генераторе. Выходные напряжения фазосдвигающего устройства должны быть одинаковыми по величине, форме и сдвинуты по отношению друг к другу на 120°.

При увеличении тока подмагничивания дросселей выходные напряжения должны смещаться в сторону опережения (влево на экране осциллографа) с сохранением между ними фазового сдвига 120°. Если фазосдвигающее устройство работает неправильно, следует с помощью осциллографа отыскать дефектный элемент или ошибку в схеме. При нормальной работе фазосдвигающего устройства к нему подключают пик-генератор и с помощью осциллографа проверяют импульсы напряжения на всех импульсных трансформаторах. При этом осциллограф включают поочередно на одну, две, три и четыре последовательно соединенные обмотки импульсных трансформаторов.

Следующим этапом наладки системы является проверка диапазона фазового регулирования при изменении тока управления фазосдвигающего устройства. Ток управления подается на фазосдвигающее устройство через потенциометрическую схему от постороннего источника постоянного тока, напряжение которого не должно иметь глубоких пульсаций (аккумуляторная батарея, трехфазный выпрямитель); одно- и двухфазные выпрямительные схемы для этой цели непригодны. Последовательным просмотром импульсов всех фаз в начале, середине и конце диапазона приближенно проверяется их симметрия.

Перед зажиганием РВ необходимо проверить значение и полярность запирающего напряжения. Для этого размыкают цепи зажигания

вентилей и подают питание на трансформаторы возбуждения, от которых питается также выпрямитель запирающего напряжения. Провалы кривой запирающего напряжения свидетельствуют о неисправности одного или нескольких вентилей в схеме питания или об отсутствии одной из фаз запирающего напряжения.

Зажигание анодов возбуждения вентилей приводит к появлению сеточных токов и соответствующему изменению напряжения на сетках вентилей. Благодаря нагрузке на фазосдвигающее устройство выходные импульсы напряжения смещаются от положения, соответствующего холостому ходу системы сеточного управления, назад на несколько градусов.

Полуволновая система

В этой системе генерирование и фазовый сдвиг осуществляются с помощью однополупериодного (полуволнового) магнитного усилителя, работающего в режиме дросселя насыщения. Принцип работы однополупериодного магнитного усилителя легко уяснить из схемы, приведенной на рис. X.11. Если предположить, что сердечник дросселя насыщения (*ДН*) размагничен, синусоидальное напряжение включается в момент прохождения через нуль и следующий полупериод напряжения положителен, то с момента включения напряжения до тех пор, пока магнитная индукция сердечника не достигла насыщения, ток в цепи дросселя мал и почти все напряжение приложено к дросселю. После того как индукция в сердечнике достигает значения B_s, сердечник насыщается, ток резко возрастает и до окончания положительного полупериода изменяется по синусоиде, амплитуда которой определяется приложенным напряжением и сопротивлением R. Угол между началом положительного полупериода и моментом насыщения сердечника называют углом насыщения. Когда рабочий ток, спадая в конце полупериода, достигает определенного значения, насыщение сердечника прекращается, индукция начинает уменьшаться и при токе, равном нулю, достигает значения остаточной индукции.

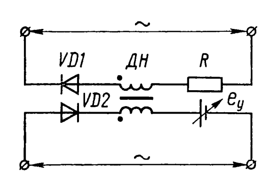


Рис. X.11. Схема генерирования и фазового сдвига импульса в полуволновой системе сеточного управления.

В течение отрицательного полупериода ток по рабочей обмотке дросселя *ДН* не протекает и под воздействием управляющего тока сердечник размагничивается и в нем устанавливается новое значение индукции B_0, определяемое значением управляющего тока в конце отрицательного полупериода.

В течение второго и всех последующих положительных полупериодов картина протекающих процессов такая же, как и в течение первого полупериода, с той лишь разницей, что магнитная индукция изменяется не от нуля, а от значения B_0, определяемого значением управляющего тока в конце предшествующего отрицательного полупериода. Соответственно во втором полупериоде изменится угол насыщения. Если B_0 больше нуля, угол насыщения уменьшится, если же B_0 меньше нуля, угол насыщения увеличится. Таким образом, изменяя значение управляющей ЭДС $e_у$, можно изменять угол насыщения от нуля до 180°.

Выходное напряжение усилителя (падение напряжения от рабочего тока на сопротивлении R) представляет собой по форме часть синусоиды с крутым передним фронтом и используется для отпирания РВ.

На рис. X.12 приведена принципиальная схема полуволновой системы сеточного управления. Управляющая ЭДС $e_у$ общая для всех фаз системы. В схеме предусмотрено специальное устройство для симметрирования (потенциометры *1П—3П* и *11П—13П*). Потенциометры

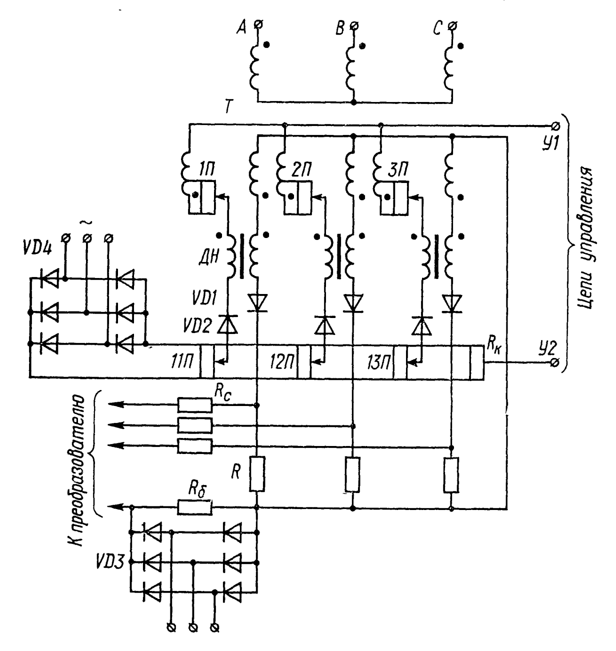


Рис. X.12. Полуволновая система сеточного управления:

T — питающий трансформатор; *ДН* — дроссели насыщения; *VD1* — вентили рабочие; *VD2* — вентили управления; R — сопротивления рабочих цепей; $R_с$ — сеточное сопротивление; *VD3* — выпрямитель смещения; $R_б$ — балластное сопротивление; *1П—3П*, *11П—13П* — потенциометры коррекции; $R_к$ — сопротивление узла коррекции; *VD4* — выпрямитель коррекции.

1П—3П позволяют индивидуально для каждой фазы системы выбрать напряжение цепи управления для компенсации возможных отклонений в параметрах дросселя и трансформатора. Потенциометры *11П—13П* служат для ввода в цепь управления каждого дросселя небольшой корректирующей ЭДС для компенсации различия магнитных характеристик дросселей. Наладка системы в части генерирования и фазового сдвига импульсов сводится к проверке исправности элементов и правильности сборки схемы. Методика проверки сопротивлений трансформаторов и полупроводниковых диодов особенностей не имеет.

Проверку дросселей рекомендуется проводить в следующем порядке: измерить сопротивление и полярность обмоток и проверить

идентичность дросселей всех фаз. Сопротивление обмоток измеряется омметром. При подключении омметра к обмотке исправного дросселя стрелка вначале неподвижна, затем отклоняется и достигает отметки шкалы, соответствующей измеряемому сопротивлению. При повторном подключении омметра без перемены полярности стрелка омметра устанавливается сразу. При перемене полярности подключения омметра стрелка его некоторое время (пока происходит перемагничивание сердечника) неподвижна. При наличии в обмотках дросселя короткозамкнутых витков процесс перемагничивания нельзя наблюдать с помощью омметра. Этот метод может быть применен для проверки маркировки обмоток.

Идентичность дросселей всех фаз проверяют по схеме, приведенной на рис. X.13. Постепенно повышая напряжение на дросселе, определяют момент насыщения сердечника дросселя, когда в кривой напряжения на экране осциллографа появляется перегиб. Для различных дросселей системы сеточного регулирования напряжение не должно различаться более чем на 1,5—2 %.

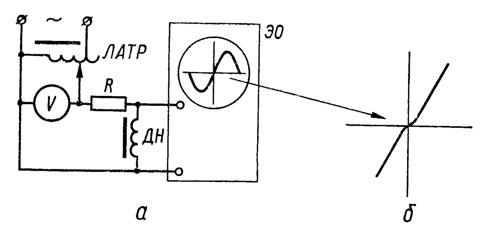


Рис. X.13. Проверка идентичности дросселей полуволновой системы:
а — схема; *б* — кривая на экране осциллографа,

Проверяют работу системы без узла симметрирования. Ползунки всех потенциометров *1П—3П*, *11П—13П* устанавливают в среднее положение, отключают питание выпрямителя коррекции, размыкают цепь управления и на систему подают напряжение. Измеряют напряжения рабочих цепей и цепей управления системы. Отношения этих напряжений для различных фаз системы не должны различаться более чем на 2 %. После измерения напряжений поочередным подключением осциллографа к нагрузочным сопротивлениям рабочих цепей проверяют форму и величину всех выходных импульсов системы. При закорачивании цепи управления передний фронт импульса должен сдвигаться на угол не менее 110°. Передний фронт импульса при разомкнутой цепи управления не должен быть сдвинут от начала положительного полупериода питающего напряжения своей фазы на угол, больший 30°. Существенно бóльший сдвиг в одной или нескольких рабочих цепях системы свидетельствует о повышенном обратном токе вентилей *ВР* этих цепей, которые должны быть заменены.

Для выбора напряжения питания цепей управления на вход системы подключается источник управляющей ЭДС $e_у$. Регулируя значение $e_у$, устанавливают передний фронт выходных импульсов напряжения системы в середину рабочего диапазона фазового регулирования (середине диапазона соответствует совпадение переднего фронта импульса с серединой положительного полупериода напряжения, питающего рабочую цепь данной фазы). В средней точке диапазона проверяется асимметрия системы. Фаза, импульс которой занимает (с точки зрения симметрии) среднее положение по отношению к остальным, принимается в качестве базовой. С помощью потенциометров *1П—3П* (в шестифазной схеме *1П—6П*) остальные фазы симметрируются относительно базовой, потенциометр которой остается в среднем положении. Если оказывается недостаточной возможность регулирова-

ния в одну из сторон, то движок потенциометра базовой фазы сдвигают со среднего положения и симметрирование системы повторяется. Корректирующие ЭДС выбирают с помощью потенциометров *11П—13П* (в шестифазной схеме *11П—16П*). Для этого работу системы проверяют в полном диапазоне. Измеряют асимметрию системы в начале, середине и конце диапазона (в конце диапазона асимметрия обычно бывает наибольшей). По результатам измерений в начале и середине диапазона определяется базовая фаза, все остальные симметрируются относительно нее. Используя устройство коррекции, асимметрию выходных импульсов напряжения системы во всем диапазоне регулирования можно снизить до значения менее 1°.

Полупроводниковые преобразователи

В последнее десятилетие полупроводниковые преобразователи получили широкое распространение в промышленности, вытеснив в значительной мере ртутные выпрямители, системы генератор — двигатель, магнитные и электромагнитные усилители, а также коллекторные возбудители синхронных машин. Этому способствовали такие преимущества полупроводниковых преобразователей, как значительно меньшие габаритные размеры и масса, более высокий КПД, больший срок службы, высокая механическая прочность и, как следствие, значительно меньшая стоимость установки при лучших технических характеристиках. Недостатками тиристоров являются ограниченные допустимые токовые перегрузки, что требует применения быстродействующих защит, и плохая сопротивляемость перенапряжениям.

Преимущественное распространение полупроводниковые преобразователи получили в системах автоматизированного электропривода постоянного и переменного тока, возбуждения синхронных машин, особенно двигателей, и в зарядных устройствах.

Основными элементами полупроводниковых преобразователей являются силовые полупроводниковые приборы (ППС) со средним или действующим значением тока 10 А и более.

Согласно СТ СЭВ 1135—78 основными ППС являются диоды (Д), тиристоры (Т), тиристоры, проводящие в обратном направлении (ТП), тиристоры-диоды (ТД) и симметричные тиристоры (ТС), имеющие также название триак или симистор. К обозначению ППС с лавинными вольт-амперными характеристиками добавляется буква Л (ДЛ, ТЛ и т. д.). За буквенным обозначением в маркировке ППС следует не более чем четырехзначное число (модификация), последней в котором является цифра, определяющая конструктивное исполнение корпуса ППС, а именно: штыревой с гибким выводом —1, штыревой с жестким выводом — 2, таблеточный — 3, под запрессовку — 4. Далее в маркировке следует значение максимально допустимого среднего прямого тока для диодов и тиристоров (в открытом состоянии) или значение максимально допустимого действующего тока для симисторов (в открытом состоянии). Для ППС с обратной полярностью в обозначении добавляется буква Х.

ППС подразделяются на классы по значениям повторяющегося импульсного обратного напряжения для диодов и тиристоров, а также повторяющегося импульсного напряжения в закрытом состоянии для тиристоров Т, ТП и ТС (последние в обоих направлениях). Классы ППС обозначаются числами, соответствующими сотням вольт. Согласно СТ СЭВ 1135—78 установлено 26 следующих классов ППС: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 50 на напряжения от 100 до 5000 В.

Таблица X.4. **Группы силовых полупроводниковых приборов**

Величина, определяющая деление на группы	Тип ППС
Время обратного восстановления, мкс, не более	Д быстровосстанавливающиеся
Критическая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии, В/мкс, не менее	Т, ТП
Критическая скорость нарастания коммутационного напряжения, В/мкс, не менее	ТС, ТД
Время выключения, мкс, не более	Т, ТП быстровыключающиеся
Время включения, мкс, не более	Т быстровключающиеся

ППС подразделяют на 10 групп от 0 до 9 по значению: а) времени обратного восстановления (Д быстровосстанавливающиеся); б) критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии (Т, ТП); в) критической скорости нарастания коммутационного напряжения (ТС, ТД); г) времени выключения (Т, ТП быстровыключающиеся); д) времени включения (Т быстровключающиеся).

Значения указанных величин, регламентируемые СТ СЭВ 1135—78, приведены в табл. X.4.

Соответствующая группа ППС указывается в обозначении после класса (если группа соответствует цифре 0, то в обозначении ППС она не указывается).

У диодов, предназначенных для параллельной работы, указывается значение импульсного прямого напряжения, а у тиристоров — импульсного напряжения в открытом состоянии. Кроме того, для Т, ТП, ТС устанавливаются следующие гарантированные значения критической скорости нарастания тока в открытом состоянии: 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600 А/мкс.

В качестве примера ниже приведено условное обозначение тиристора таблеточного, с максимально допустимым средним током в открытом состоянии 500 А, 8-го класса, с критической скоростью нарастания напряжения в закрытом состоянии 80 В/мкс (3-я группа), временем выключения 45 мкс (2-я группа) и импульсным напряжением в открытом состоянии от 1,6 до 1,7 В: Т... 3—500—8—32—1,6—1,7.

В объем проверки и наладки полупроводниковых преобразователей кроме испытаний, предусмотренных ПУЭ и приведенных в начале главы, дополнительно входят внешний осмотр, проверка основных параметров ППС, затяжка контактных соединений ППС, проверка схемы и маркировки, цепей и элементов защиты от перенапряжения, наладка системы импульсно-фазового управления.

При внешнем осмотре обращают внимание на отсутствие явных повреждений, соответствие проектной документации установленных ППС по току, классу, группе и пр., правильность выполнения ошиновки силовой части преобразователя, включения делителей, дросселей, реакторов. С помощью специального тарированного ключа проверяют закручивающий момент ППС и надежность контактных соединений.

При измерении сопротивления и испытании изоляции токоведущих частей преобразователя по отношению к корпусу и между цепями,

Группы ППС									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Не нормируется	5,0	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,0	0,63	0,4
То же	20	50	100	200	320	500	1000	1500	2500
» »	2,5	4,0	6,3	10	16	25	50	100	200
» »	63	50	40	32	25	20	16	12,5	8,0
» »	4,0	3,2	2,5	2,0	1,6	1,2	1,0	1,6	0,4

электрически не связанными друг с другом, необходимо управляющие электроды тиристоров соединить с анодами и катодами временными перемычками во избежание повреждения тиристоров. Места установки перемычек фиксируются письменно для исключения случайного включения преобразователя в работу с временными перемычками.

Сопротивление изоляции узлов цепей преобразователя должно быть не меньше значения, указанного заводом-изготовителем; обычно R_{60} в холостом состоянии не должно составлять менее 5 МОм при воздушном или масляном охлаждении, а также при водяном охлаждении при не заполненной водой системе.

Изоляция узлов и цепей преобразователя должна выдерживать в течение одной минуты испытательное напряжение промышленной частоты, равное 1800 В или указанное заводом-изготовителем.

Проверка основных параметров ППС

Проверке основных параметров ППС должно предшествовать определение исправности, т. е. отсутствия обрыва цепи или короткого замыкания между электродами. Эта проверка производится либо мегомметром с напряжением на выводах, не превышающим повторяющегося напряжения ППС, либо с помощью источника постоянного тока напряжением 50 В и внутренним сопротивлением 100—200 Ом. У исправного ППС сопротивление резко изменяется при перемене полярности приложенного к электродам напряжения; у короткозамкнутого — сопротивление одинаково мало, а у ППС с обрывом цепи — велико при приложении испытательного напряжения той и другой полярности.

При этом следует иметь в виду, что подача на изолированный от анода управляющий электрод отрицательного напряжения может привести к повреждению тиристора. Поэтому при определении исправности управляющий электрод соединяют с анодом.

Определение класса (повторяющегося напряжения), обратного тока и тока в закрытом состоянии ППС производят по схеме, приведенной на рис. X.14. На схеме обозначены *ИН* — источник импульсов напряжения, обеспечивающий изменение амплитуды до напряжения загиба вольт-амперной характеристики (ВАХ), частоту повторения импульсов 3—50 Гц, длительность импульсов 10 ± 1 мс; S — переключатель; N — электронный осциллограф; R — измерительный резистор с сопротивлением, не превышающим 0,01 отношения максимальной амплитуды импульса напряжения к установленному значению тока в закры-

том состоянии или обратного тока; *ИП* — испытываемый ППС, помещенный в термостат.

Проверка класса ППС проводится в следующих условиях: температура равна максимально допустимой; длительность импульса 10± ± 1 мс; скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии не более 5 В/мкс (для тиристоров); форма напряжения — однополупериодная синусоидальная; цепь управления разомкнута.

При одном из положений переключателя *S* плавно увеличивают амплитуду импульсов напряжения до загиба ВАХ (на экране осциллографа) или до нормированного значения обратного тока (тока в закрытом состоянии), соответствующего напряжению пробоя (переключения). Эту операцию повторяют при другом положении переключателя *S*.

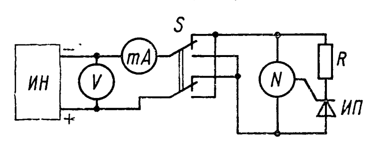


Рис. X.14. Схема для определения класса (повторяющегося напряжения), обратного тока и тока в закрытом состоянии ППС.

Повторяющееся напряжение принимается равным 75 % меньшего из двух зафиксированных по вольтметру *V* напряжений для нелавинных диодов и тиристоров и 80 % — для симисторов и лавинных диодов.

Для лавинных ППС дополнительно производятся измерения при температуре 25 °С. Напряжение пробоя при максимально допустимой температуре должно быть не меньше соответствующего значения, измеренного при 25 °С. Повторяющееся напряжение принимается равным 80 % наименьшего из измеренных при 25 °С. (Округление значения повторяющегося напряжения всегда производят в сторону уменьшения.) Затем производится проверка при амплитуде импульсов, увеличенной на 15 % для лавинных ППС и симисторов и на 23,5 % — для нелавинных ППС в течение 5 с при обоих положениях переключателя *S*. ППС считается выдержавшим испытание, если не наблюдается загиб ВАХ или если ток в закрытом состоянии (обратный ток) не превышает нормированного значения.

Амплитуда обратного тока (тока в закрытом состоянии) определяется миллиамперметром или осциллографом, подключенным к измерительному резистору *R*.

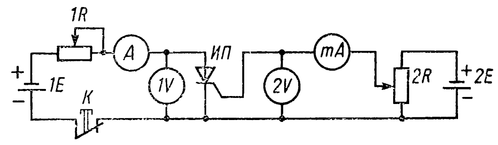


Рис. X.15. Схема для определения отпирающего тока и напряжения управления ППС.

Определение отпирающего тока и напряжения управления тиристора выполняют по схеме, приведенной на рис. X.15. Перемещая движки переменных резисторов *1R* и *2R*, находят такое положение движка резистора *1R*, при котором происходит надежное переключение испытываемого тиристора *ИП* при подаче на управляющий электрод открывающего сигнала, и фиксируют его. Понижают напряжение и ток резистором *2R* до минимума. Отключают и включают источник *1E* кнопкой *K* для того, чтобы испытываемый тиристор был закрыт. Плавно увеличивают резистором *2R* напряжение на управляющем электроде до переключения тиристора *ИП*, контролируемого вольтметром амплитудного значения *1V*. Напряжение и ток, зафиксированные по вольтметру 2*V* и миллиамперметру *mA*, являются отпирающими.

Измерение среднего значения импульсного прямого напряжения и импульсного напряжения в открытом состоянии производится по

схеме рис. X.16. На схеме обозначено: T — нагрузочный трансформатор со вторичным напряжением 10—15 В, мощностью 15 кВт для проверки ППС на ток до 1000 А; $R1$ — переменный резистор с сопротивлением, в 5—10 раз превышающим сопротивление *ИП*, на ток, равный предельному прямому току *ИП*; $VD1$ и $VD2$ — диоды на такой же прямой ток, как *ИП*; $R2$ — резистор (5,1 кОм; 0,5 Вт); mV — милливольтметр с шунтом и V — вольтметр магнитоэлектрической системы.

В процессе измерения через испытываемый ППС в прямом направлении (в открытом состоянии) пропускают однополупериодный ток частотой 50 Гц. Среднее значение этого тока фиксируется милливольтметром с шунтом, а среднее значение импульсного прямого напряжения (напряжения в открытом состоянии) измеряется вольтметром V.

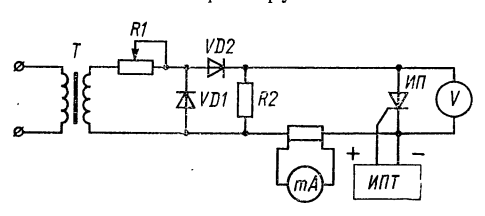


Рис. X.16. Схема для определения среднего значения импульсного прямого напряжения и импульсного напряжения в открытом состоянии ППС.

Измерение времени включения ППС осуществляют по схеме рис. X.17. Здесь *ИПН* — источник постоянного напряжения на 100 ± 10 В с внутренним сопротивлением не менее 100 Ом; *ИУ* — источник управления напряжением 20—30 В, внутренним сопротивлением 5—20 Ом, длительностью импульса, превышающей не менее чем вдвое норму времени включения; $C = \frac{t_{gt} I_{TAVm}}{0{,}2U_G}$, t_{gt} — время включения, мс; I_{TAVm} — предельный ток тиристора *ИП* в открытом состоянии; U_G — напряжение источника *ИУ*; $R1$ — резистор, ограничивающий прямой ток ИП; $R2$ — измерительный резистор для включения осциллографа N. Время включения — это время от момента подачи импульса тока управления на включение до момента нарастания тока в открытом состоянии ППС до 90 % его начального значения. Оно практически равно промежутку времени от момента достижения током управления 10 % амплитуды до момента снижения прямого напряжения до 10 % его начального значения. Этот промежуток времени измеряется с помощью осциллографа.

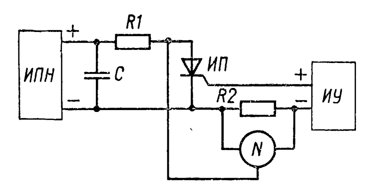


Рис. X.17. Схема для измерения времени включения ППС.

Условия измерения времени включения: напряжение на ИП в закрытом состоянии до включения 100 В; амплитуда тока ИП в открытом состоянии — предельно допустимая; амплитуда и скорость нарастания тока управления 1—2 А и не менее 1 А/мкс; длительность импульса управления не менее 50 мкс.

Измерение времени выключения ППС производится на установке, структурная схема которой изображена на рис. X.18. На схеме обозначены: *ИИТ* —источник импульсов тока длительностью 0,5—1 мс и амплитудой, равной предельному току ИП; *ИИН* — источник импульсов напряжения в закрытом состоянии ИП с внутренним сопротивлением 100—200 Ом, амплитудой, равной 0,67 повторяющегося напряжения, и скоростью нарастания, равной максимально допустимой для

ИП; *ИУ* — источник управления с амплитудой импульсов тока 2—3 А и длительностью 500—100 мкс; *ИОН* — источник обратного напряжения с амплитудой импульсов 100 ± 10 В и длительностью не менее времени включения ИП; *L* — индуктивность, предназначенная вместе с резистором *R1* для обеспечения заданной скорости спада прямого тока; *СУ* — синхронизирующее устройство, обеспечивающее запуск сначала *ИИТ* и *ИУ*, далее через t_1— *ИОН* и затем в момент t_2 — *ИИН* и ключа *К*, с частотой от 1 до 10 Гц; *R2* — резистор нагрузки ИП; *N* — электронный осциллограф.

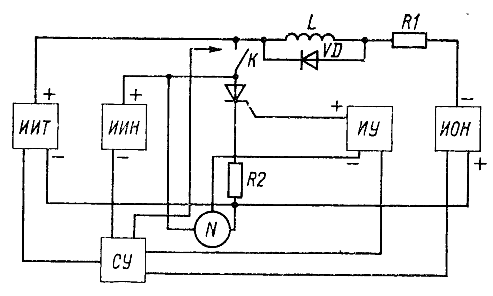


Рис. X.18. Схема для измерения времени выключения ППС.

Время выключения— это промежуток времени от момента, когда анодный ток в открытом состоянии, снижаясь, достигает нулевого значения, до момента, когда тиристор способен выдержать, не переключаясь, прикладываемое напряжение в закрытом состоянии.

Условия измерения времени выключения: температура ИП равна максимально допустимой; амплитуда тока в открытом состоянии равна предельно допустимой для ИП, форма тока трапецеидальная, длительность импульса 0,5—1 мс; амплитуда обратного напряжения 100 В, форма напряжения трапецеидальная; амплитуда импульса напряжения в закрытом состоянии равна 0,67 повторяющегося напряжения ИП, скорость нарастания максимальна, длительность импульса не менее 30 мкс.

Измерение времени выключения проводится при подаче на ИП в открытом состоянии импульса обратного напряжения и через интервал времени t_2—t_1— импульса прямого напряжения. Изменяют интервал времени t_2—t_1 до значения, при котором ИП еще выдерживает, не переключаясь, прикладываемое напряжение в закрытом состоянии. Значение t_2—t_1 равно времени выключения.

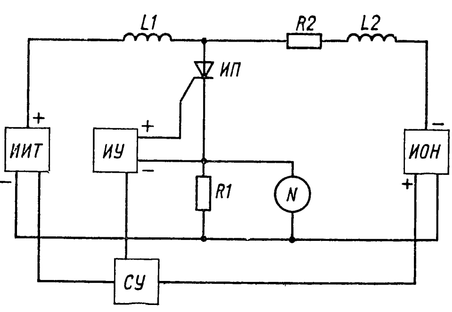


Рис. X.19. Схема для измерения времени обратного восстановления ППС.

Измерение времени обратного восстановления осуществляется по структурной схеме рис. X.19. На схеме обозначены: *ИИТ* с амплитудой импульсов тока, равной предельной, с точностью ± 10 %, скоростью нарастания тока не более 20 А/мкс, длительностью импульса 2—3 мс; *ИУ* с амплитудой импульсов тока 1—2 А; *ИОН* с амплитудой импульсов 100 ± 10 В, длительностью импульсов не менее нормированного значения времени обратного восстановления *ИП*, внутренним сопротивлением 0,1—0,5 Ом; индуктивности *L1* и *L2*, равные 1—5 мкГ;

$R1$ и $R2$ — резисторы, значения которых связаны соотношением

$$R1 \leqslant 0{,}1\,(R2 + R_и),$$

где $R_и$ — внутреннее сопротивление *ИИТ*; *СУ* обеспечивает подачу запускающих сигналов в начальный момент на *ИИТ* и *ИУ*, а через 2—3 мс — на *ИОН*, частота сигналов 1—50 Гц; *N* —электронный осциллограф с полосой пропускания 0—1 МГц.

Условия измерения времени обратного восстановления: температура равна максимально допустимой; амплитуда тока в открытом состоянии равна предельной; длительность импульса тока составляет не менее 2 мс; амплитуда обратного напряжения 100 В.

Время обратного восстановления определяют по кривой прямого тока (тока в открытом состоянии) на экране осциллографа.

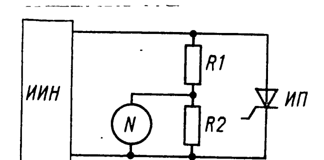


Рис. X.20. Схема для измерения критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии ППС.

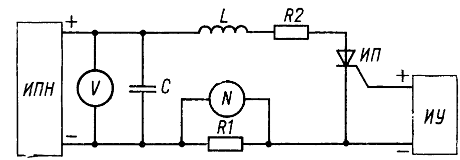


Рис. X.21. Схема для измерения критической скорости нарастания тока в открытом состоянии ППС.

Измерение критической скорости нарастания напряжения в закрытом состоянии производится по схеме рис. X.20, где *ИИН* — источник импульсов напряжения с регулируемой скоростью нарастания напряжения от 5 до 1500 В/мкс, частотой 50 Гц, внутренним сопротивлением 100—200 Ом; $R1$ и $R2$ — резисторы, образующие делитель напряжения; *N* — осциллограф с полосой пропускания 0—100 МГц.

Условия измерения: температура равна максимально допустимой; испытательный импульс напряжения с амплитудой, равной 0,67 повторяющегося напряжения *ИП*, длительностью на уровне 0,9 амплитуды — не менее 25 мкс, с линейным или экспоненциальным фронтом нарастания; цепь управляющего электрода разомкнута.

Изменяют скорость нарастания напряжения от минимального значения до значения, при котором происходит переключение *ИП*, фиксируемое по резкому спаду напряжения на экране осциллографа. Это значение принимают за критическую скорость нарастания напряжения *ИП* в закрытом состоянии.

Измерение критической скорости нарастания тока в открытом состоянии производится по схеме рис. X.21. На схеме обозначены: *ИПН* — источник постоянного напряжения, равного повторяющемуся напряжению *ИП*, с внутренним сопротивлением не менее 10 кОм; *ИУ* — источник управления с напряжением 20—30 В, внутренним сопротивлением 5—20 Ом, частотой 1—5 Гц, значение резисторов $R1$, $R2$, индуктивности L и емкости C определяются из выражений

$$C = 5{,}6\,\frac{tI_{TM}}{U}, \quad L = 1{,}68\,\frac{tU}{I_{TM}},$$

$$R2 = 0{,}54\,\frac{U}{I_{TM}}, \quad R1 \leqslant 0{,}1R2,$$

где t — время, в течение которого импульс тока возрастает от 0 до 50 % амплитуды, мкс; U — напряжение *ИПН*, В; I_{TM} — амплитуда импульсов тока, А.

Условия измерения: напряжение на *ИП* в закрытом состоянии до включения равно повторяющемуся; амплитуда импульсов тока равна или больше двукратного значения предельного тока; частота 1—5 Гц; длительность испытаний 10 с; амплитуда и скорость нарастания тока управления 1—2 А и не менее 1 А/мкс; длительность импульса управления не менее 50 мкс.

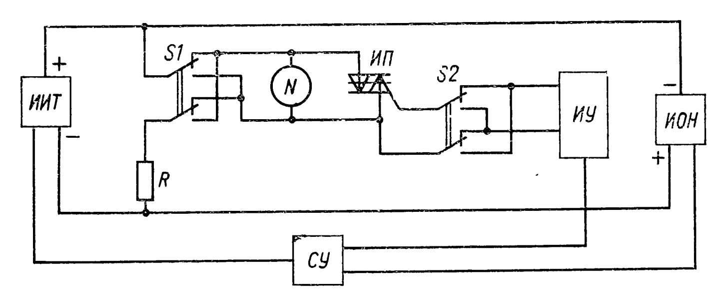


Рис. X.22. Схема для измерения критической скорости нарастания коммутационного напряжения симисторов.

При измерении через *ИП* пропускают импульсы тока со ступенчато увеличивающейся скоростью нарастания, контролируя на каждой ступени ток в закрытом состоянии и обратный ток *ИП*. Увеличение скорости нарастания тока продолжают до наступления параметрического отказа. Скорость нарастания тока, еще не вызывающая такого отказа, будет предельно допустимой.

Измерение критической скорости нарастания коммутационного напряжения (для симисторов) осуществляется по схеме рис. X.22. На

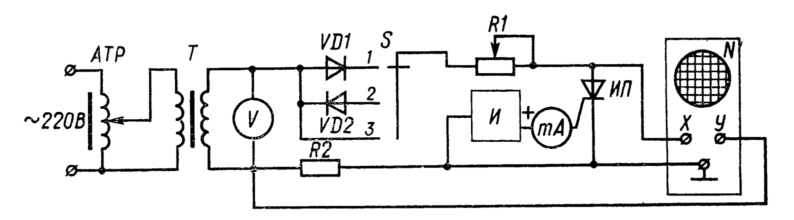


Рис. X.23. Схема для определения вольт-амперной характеристики ППС.

схеме обозначены: источники *ИИТ*, *ИОН*, *ИУ*, переключатели полярности импульсов *S1* и *S2*, синхронизирующее устройство *СУ*, резистор *R*, испытываемый симистор *ИП*.

Условия измерения: температура ППС максимально допустимая; амплитуда тока максимально допустимая, длительность импульса не менее 25 мкс; обратное напряжение с амплитудой, равной 67 % максимально допустимого повторяющегося импульсного напряжения в закрытом состоянии с линейным фронтом.

При измерении *СУ* надо обеспечивать запуск в начальный момент *ИИТ* и *ИУ* и через промежуток времени t_1 — *ИОН*.

Пропускают через *ИП* ток в прямом (обратном) направлении, прикладывают в обратном (прямом) направлении напряжение со скоростью нарастания менее предполагаемой критической. Увеличивают скорость нарастания напряжения до момента переключения *ИП*, фиксируемого по осциллографу. Критической считается наибольшая скорость нарастания коммутационного напряжения, при которой еще не наблюдается переключение симистора.

Просмотр вольт-амперной характеристики ППС может быть осуществлен с помощью осциллографа и специальной приставки, схема которой приведена на рис. X.23. На схеме обозначены: *АТР* — регулировочный автотрансформатор; *Т* — промежуточный трансформатор; *VD1* и *VD2* — диоды, формирующие однополупериодное напряжение; *S* — переключатель; *R1* и *R2* — регулировочный и измерительный резисторы, падение напряжения на последнем пропорционально току ППС.

При отключенной внутренней системе развертки на экране осциллографа в первом положении переключателя *S* обеспечивается просмотр прямой, во втором — обратной, в третьем — обеих ветвей ВАХ ППС.

Проверка цепей и элементов системы управления полупроводниковых преобразователей

Проверка *RC*-цепей защиты ППС от перенапряжений выполняется в следующем объеме: проверочный расчет резисторов и конденсаторов; проверка исправности резисторов и конденсаторов (см. гл. II); проверка схемы соединений элементов защиты (см. гл. III).

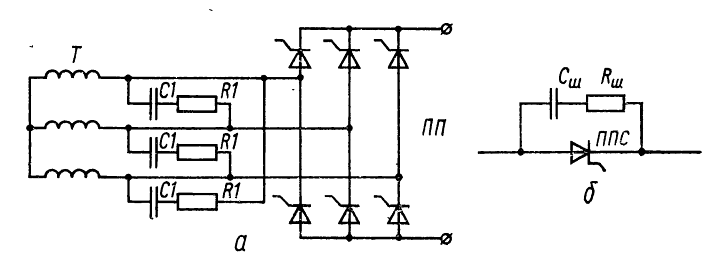


Рис. X.24. Схемы защиты ППС от внешних (*а*) и коммутационных (*б*) перенапряжений.

На рис. X.24 приведены схемы защиты ППС от перенапряжений. Здесь *ПП* и *ППС* — защищаемые вентили; *Т* — вторичная обмотка силового питающего трансформатора; *R1*, $R_ш$ и *C1*, $C_ш$ — соответственно защитные резисторы и конденсаторы.

Проверочный расчет выполняется по следующим формулам:

$$C1 = (5 \div 10)\frac{S_2}{U_2^2}\ [\text{мкФ}], \quad R1 = \frac{300}{C1}\ [\text{Ом}],$$

$$C_ш = 0{,}01 I_{TAVm}\ [\text{мкФ}], \quad R_ш = 55 - 0{,}1 I_{TAVm}\ [\text{Ом}], \qquad (X.1)$$

где S_2 — полная мощность вторичной обмотки трансформатора, В · А; U_2 — фазное вторичное напряжение трансформатора, В; I_{TAVm} — предельный ток ППС в открытом состоянии (прямой ток), А.

Формула (X.1) справедлива для ППС с предельным током в открытом состоянии не более 500 А.

Номинальное напряжение конденсаторов должно быть не меньше, чем повторяющееся напряжение защищаемого ППС. Мощность резисторов может быть проверена по формулам

$$P_{R1} = C1U_2^2 \cdot 10^{-4}\ [\text{Вт}], \quad P_{R_ш} = 3C_ш^2 R_ш U_2^2 \cdot 10^{-7}\ [\text{Вт}].$$

Проверка и наладка системы импульсно-фазового управления (СИФУ) силовыми полупроводниковыми приборами преобразователя выполняются по инструкциям заводов-изготовителей. Обычно они проводятся в такой последовательности.

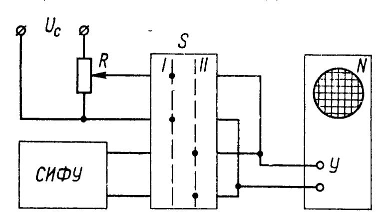


Рис. X.25. Схема фазировки преобразователя по шкале осциллографа.

1. Проверка правильности подключения контрольных гнезд.
2. Проверка напряжений узла питания.
3. Измерение с помощью осциллографа пульсаций выпрямленного напряжения источников питания и устранение повышенной по сравнению с заводскими данными пульсации путем регулировки фильтров выпрямителей.
4. Проверка работы узла синхронизации, включающая фазировку выходов с питающей сетью, измерение чередования и асимметрию фаз выходных напряжений.
5. Проверка наличия опорных напряжений в соответствующих точках узлов фазосмещения и правильности чередования их фаз.
6. Снятие характеристики вход — выход узла согласования сигналов управления.
7. Снятие семейства характеристик зависимости угла регулирования от входного напряжения узла согласования для всех каналов СИФУ и определение по ним асимметрии фаз в виде разности углов регулирования в отдельных каналах при одних и тех же значениях входного напряжения.
8. Контроль с помощью осциллографа формы и порядка чередования импульсов СИФУ непосредственно на управляющих электродах ППС.
9. Проверка правильности действия опробованием под напряжением устройств управления, блокировки, измерения, сигнализации.
10. Проверка действия защит путем имитации аварийных режимов.

Фазировка преобразователя производится с целью согласования во времени напряжения силовой цепи ППС и диапазона изменения фазы импульса управления в соответствующем канале СИФУ. Она осуществляется путем поочередного (лучше одновременного) рассмотрения на экране электронного осциллографа кривых этих напряжений и импульсов и измерения по шкале экрана или другим способом разности их фаз. Этому должна предшествовать проверка фазировки переменных напряжений, подводимых к соответствующим фазам силовой части преобразователя и трансформаторам собственных нужд или блокам СИФУ (см. гл. IX).

При фазировке преобразователя с измерением разности фаз по шкале экрана осциллографа (N) собирают схему, приведенную на рис. X. 25. Осциллограф надежно изолируют от «земли» и заземленных предметов. Вначале на вход его подается через делитель R и переключатель S напряжение силовой цепи (чаще всего линейное, фаз A и C).

Осциллограф синхронизируют с сетью, устанавливают и фиксируют частоту развертки, при которой на экране размещается полный период синусоидального напряжения сети, и отмечают на шкале (сетке) точку начала положительной полуволны. Затем с помощью переключателя *S* ко входу осциллографа вместо напряжения сети подключают выход одного из каналов СИФУ. Определяют положение импульса на экране при разных значениях угла регулирования относительно

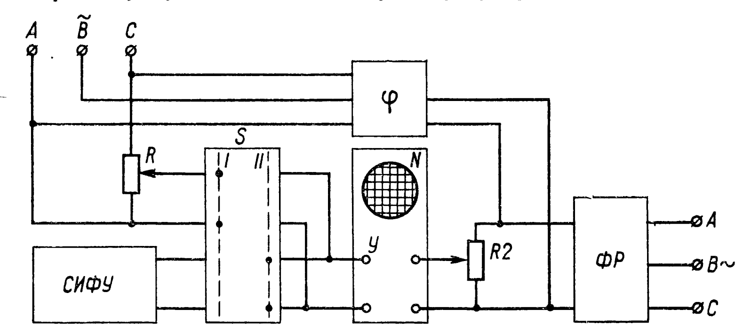


Рис. X.26. Схема фазировки преобразователя с помощью фазорегулятора.

отмеченной ранее точки начала положительной полуволны сетевого напряжения. По шкале экрана оценивают разность фаз импульса и сетевого напряжения. Подавая на вход осциллографа импульсы от остальных каналов СИФУ, таким же образом определяют их фазу, а также разность фаз между импульсами. Неточность метода может доходить до 10—12°. При необходимости напряжение сети подается через понижающий измерительный трансформатор.

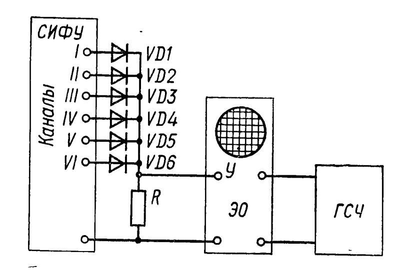


Рис. X.27. Схема проверки асимметрии фаз управляющих импульсов.

На рис. X.26 приведена схема для фазировки с использованием фазовращающего устройства (фазорегулятора). По сравнению со схемой рис. X.25 на этой схеме дополнительно подключены фазорегулятор *ФР* (к клеммам осциллографа «внешняя синхронизация» через потенциометр *R2*) и фазометр φ. Вначале на вход осциллографа подают синусоидальное напряжение силовой сети и с помощью *ФР* размещают начало положительной полуволны в удобной точке экрана. При этом замечают показания фазометра в градусах. Затем вместо напряжения сети на вход осциллографа подают импульс от одного из каналов *СИФУ*. С помощью *ФР* совмещают передний фронт импульса с отмеченной ранее точкой на шкале экрана. Разность между показаниями фазометра, отмеченными в обоих случаях, равна разности фаз исследуемых напряжений. Аналогично определяются фаза и разность фаз при подаче импульсов от других каналов *СИФУ* и при регулировании угла открытия ППС. В качестве *ФР* могут использоваться индукционные или коммутационные фазовращатели. Вместо фазометра разность

фаз может быть определена по лимбу, укрепленному на роторе фазовращателя. Погрешность измерения при использовании этого метода оказывается не более $\pm 1°$.

Кроме приведенных методов в наладочной практике применяется метод фазировки путем воздействия на систему модуляции яркости осциллографа или с помощью цифровых электронно-счетных приборов.

На рис. X.27 приведена структурная схема проверки асимметрии фаз управляющих импульсов. Импульсы от СИФУ через формирователи (на схеме не показаны), диоды *VD1—VD6* и измерительный резистор *R* поступают на вход осциллографа, включенного по схеме внешней синхронизации на генератор синхронизирующей частоты *ГСЧ*. Если частоту синхронизации отрегулировать равной $f_{син} = kmf$, где k — натуральный ряд чисел 1, 2, 3, ..., m — количество каналов СИФУ и f — частота сети, то импульсы на экране осциллографа окажутся совмещенными. При полной симметрии передние фронты импульсов совпадут. При несовпадении импульсов значение асимметрии $\Delta \alpha$ по измеренному расстоянию между передними фронтами Δl можно определить из выражения

$$\Delta\alpha = \frac{360}{kml}\Delta l,$$

где l — длина развертки луча осциллографа на экране.

Проверка работы преобразователя на холостом ходу и с нагрузкой

После окончания испытательно-наладочных работ на отключенном преобразователе выполняются следующие операции.

1. При включенных системах управления, блокировки, защиты и сигнализации и разомкнутой цепи нагрузки на преобразователь подают напряжение питающей силовой сети. Затем производят трехкратное кратковременное отключение и включение преобразователя. Убеждаются в удовлетворительной работе его на холостом ходу при плавном изменении напряжения во всем диапазоне регулирования; снимают х. х. х. преобразователя: $U_{вых} = f(\alpha)$, или $U_{вых} = f(U_{вх})$ при $I_{нач} = 0$.

2. На выход преобразователя включают нагрузочное активное сопротивление, способное обеспечить нормальный режим работы ППС в диапазоне регулирования выходного напряжения от 10 до 100 % номинального. Значение сопротивления может быть определено из выражения

$$R_{нач} = \frac{0{,}5U_2}{bI_{TAVm}}\ [\text{Ом}],$$

где U_2— вторичное фазное напряжение преобразовательного трансформатора, В; b — число параллельно включенных ППС в ветви моста, I_{TAVm} — предельный ток в открытом состоянии, А.

Мощность нагрузочного сопротивления должна быть такой, чтобы обеспечивалась нормальная работа преобразователя при максимальном выпрямленном напряжении. Снимают регулировочную характеристику преобразователя $U_{вых} = f(\alpha)$, или $U_{вых} = f(U_{вх})$ и проверяют одновременно диапазон регулирования выходного напряжения. На рис. X.28 приведен примерный вид регулировочных характеристик.

Кривая 2 относится к шестифазному, а кривая 3 — к трехфазному преобразователям. Устанавливают максимальный $\alpha_{макс}$ и минимальный $\alpha_{мин}$ углы регулирования в соответствии с инструкцией завода-изготовителя. Максимальный угол при индуктивной нагрузке устанавливают обычно равным 130—150°, минимальный выбирают исходя из напряжения на нагрузке, при котором обеспечивается требуемое качество регулирования.

3. В режиме короткого замыкания (закорачивающую перемычку устанавливают на выходе преобразователя) при номинальном токе проверяют распределение тока в параллельных ветвях преобразователя. Ток определяется по падению напряжения на предохранителях ППС (приближенно) или на измерительных шунтах, включенных последовательно с ними. Если это не запрещается заводом-изготовителем, в режиме короткого замыкания проверяют настройку защит преобразователя, воздействуя на ППС от СИФУ.

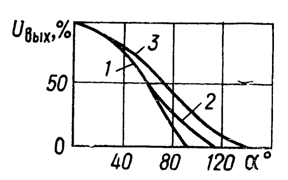


Рис. X.28. Регулировочные характеристики полупроводникового преобразователя:

1 — при индуктивной нагрузке; 2, 3 — при активной нагрузке.

4. Включают преобразователь на реальную нагрузку. Если нагрузка является двигательной, снимают характеристики $U_{вых} = f(U_{вх})$ и $n_д = f(U_{вх})$, где $n_д$ — частота вращения двигателя. Если нагрузка активно-индуктивная, снимают характеристику $I_н = f(U_{вх})$. Проверяют диапазоны регулирования нагруженного преобразователя.

5. У реверсивных преобразователей вначале производят опробование поочередно каждой группы ППС в режиме холостого хода. Затем проверяют совместную работу двух групп ППС при включенной цепи нагрузки. Определяют характеристики $U_{вых} = f(U_{вх})$, $n_д = f(U_{вх})$, $I_н = f(U_{вх})$ для обеих полярностей входного сигнала. Одновременно контролируются значения уравнительного тока, форма выходного напряжения и напряжение на ППС.

Тиристорные возбудители (ТВ) синхронных электродвигателей

Рассматриваемые в настоящем разделе тиристорные возбудители предназначены для питания обмотки возбуждения и управления током возбуждения синхронных электродвигателей.

Промышленностью выпускается несколько типов тиристорных возбудителей. Несмотря на имеющиеся схемные и конструктивные различия в исполнении отдельных типов тиристорных возбудителей, всем им присущи общие функциональные признаки. Тиристорные возбудители выполняют следующие функции: пуск синхронного двигателя с автоматической подачей возбуждения в функции скольжения или тока статора; плавную регулировку тока возбуждения; форсировку возбуждения по напряжению с ограничением тока возбуждения; защиту ротора от длительной перегрузки по току; форсированное гашение поля ротора при отключении двигателя; автоматическое регулирование тока возбуждения по напряжению или току статора или их комбинации с ограничением напряжения возбуждения по минимуму; защиту от затянувшегося пуска и асинхронного хода синхронного двигателя; защиту от внешних и внутренних коротких замыканий.

Ниже рассматриваются принцип действия и особенности наладки некоторых наиболее распространенных типов тиристорных возбудителей.

Пусконаладочные работы по тиристорным возбудителям должны выполняться на основании инструкций завода-изготовителя с учетом требований ПУЭ, относящихся к испытаниям статических преобразователей для промышленных целей.

Устройства тиристорные возбудительные типов ТВУ-50-180ВУ4, ТВУ-50-180Н1У4, ТВУ-50-180Н2У4, ТВУ-30-180ВУ4 и ТВУ-30-180Н1У4

Основные параметры тиристорных возбудителей приведены в табл. X.5.

Таблица X.5. **Основные параметры тиристорных возбудителей типов ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180**

Параметр	ТВУ-50-180ВУ4	ТВУ-50-180Н1У4	ТВУ-50-180Н2У4	ТВУ-30-180Н1У4	ТВУ-30-180ВУ4
Номинальный выпрямленный ток, А	180				
Номинальное выпрямленное напряжение, В	50			30	
Потолочное выпрямленное напряжение при номинальном напряжении питающей сети, В	87,5			52,5	
КПД при номинальной нагрузке, %, не менее	89			85,3	
Ток в первичной цепи силового трансформатора при номинальной нагрузке, А	40			25	
Сопротивление пускового резистора, Ом	0,8				
Номинальное напряжение статора двигателя, В	6000	380			6000
Номинальный ток статора двигателя, А	—	$\leqslant 600$	>600	$\leqslant 600$	—

Структурная блок-схема возбудителей приведена на рис. X.29. Тиристорный преобразователь (рис. X.30) собран по трехфазной схеме с нулевым выводом и состоит из 6 тиристоров *VS3—VS8*, защищенных *RC*-цепочками (*C1—R3*, *C2—R4*, *C3—R5*). В каждой фазе преобразователя установлены делители тока (*TL1—TL3*) для выравнивания токов между двумя параллельно включенными тиристорами фазы. Питание преобразователя осуществляется через согласующий трансформатор *T2* и автоматический выключатель *QF5*.

Параллельно обмотке возбуждения двигателя через тиристорный ключ *VS1*, *VS2* включен пусковой резистор *R2*, предназначенный для

замыкания на него обмотки возбуждения двигателя при асинхронном пуске синхронного двигателя.

Блок управления пусковым резистором *R2* состоит из тиристоров *VS1*, *VS2* и диодно-стабилитронных цепей *VD1*, *VD3*, *VD4* и *VD6*—*VD8*. В пусковом режиме, до подачи возбуждения тиристоры *VS1*, *VS2* включаются под влиянием переменного напряжения, наведенного в обмотке ротора полем статора двигателя, а стабилитроны *VD3*, *VD4*, *VD6*, *VD7* шунтируются размыкающими контактами реле *K7*.

Отключение тиристоров *VS1*, *VS2* происходит при вхождении двигателя в синхронизм под воздействием кратковременного снижения

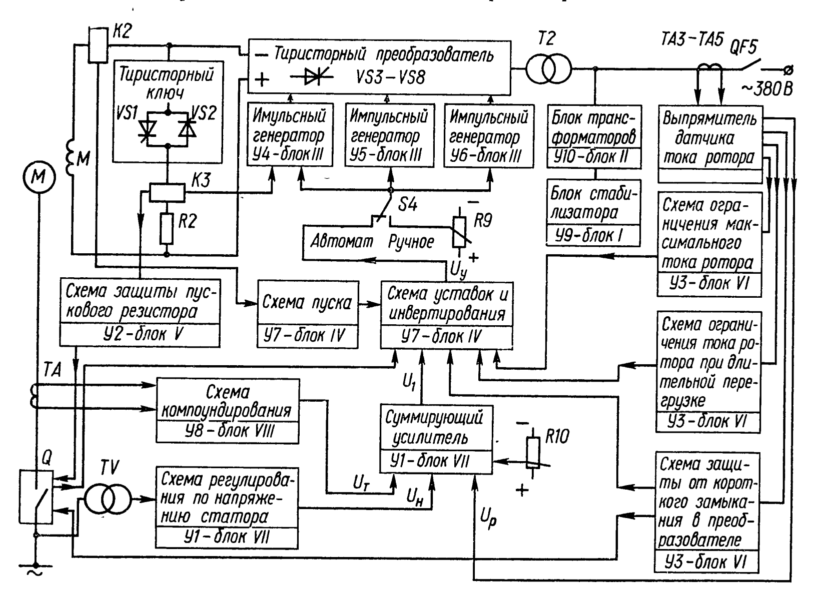


Рис. X.29. Структурная схема возбудителей типов ТВУ-50-180В и ТВУ-30-180В.

напряжения на обмотке возбуждения до нуля (при угле регулирования $\alpha > 30°$). Отключение тиристоров *VS1*, *VS2* при угле регулирования $\alpha > 30°$ происходит либо при переходе напряжения возбуждения через нуль вследствие проворота ротора при подаче возбуждения, либо вследствие отключения одного импульсного канала контактом герконного реле *K3* (см. ниже).

В цепи первичных обмоток согласующего трансформатора *T2* включены трансформаторы тока *TA3*—*TA5*, используемые в качестве датчиков тока возбуждения.

Функции управления, защиты и регулирования осуществляет электронная система управления (ЭСУ), в состав которой входят следующие блоки: 1) блок стабилизатора (*I*); 2) блок трансформаторов (*II*); 3) три импульсных блока (*III*); 4) блок пуска и уставок (*IV*); 5) блок защиты пускового резистора (*V*); 6) блок ограничений и защиты по току ротора (*VI*); 7) блок регулирования по напряжению статора (*VII*); 8) блок компаундирования (*VIII*). Блоки ЭСУ присоединяются к общей схеме с помощью штепсельных разъемов.

Управление тиристорами преобразователя осуществляется от трех импульсных блоков *III* по фазоимпульсному способу. Импульсные блоки генерируют управляющие импульсы, которые подаются на управляющие электроды тиристоров преобразователя. Регулирование тока возбуждения происходит с помощью фазового сдвига управляющих импульсов, определяемого значением управляющего напряжения. При увеличении управляющего напряжения угол сдвига управляющих импульсов увеличивается, что приводит к уменьшению тока возбуждения. Соответственно при уменьшении управляющего напряжения ток

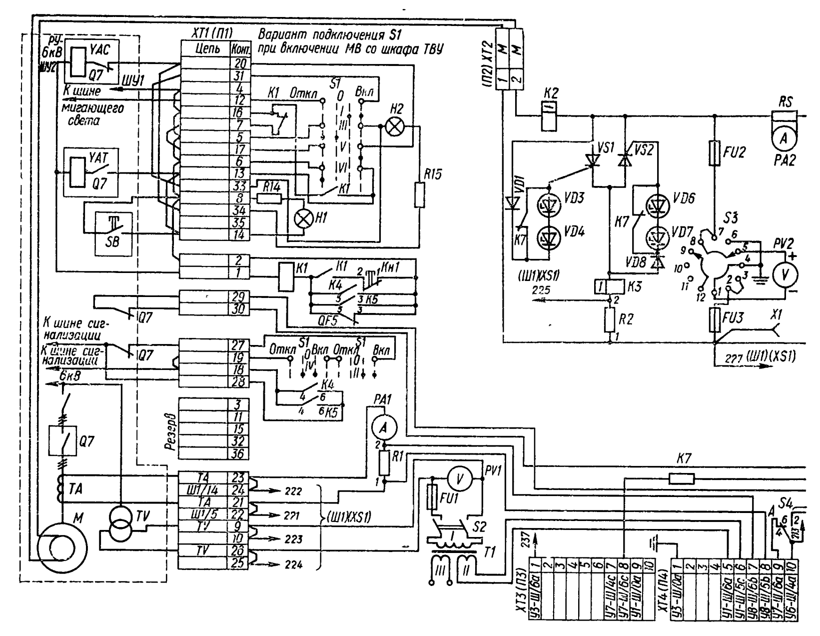


Рис. X.30. Принципиальная схема тиристорного возбудителя типов

возбуждения возрастает. Управляющее напряжение на импульсные блоки подается через переключатель режима работы *S4*, либо от потенциометра ручного управления *R9*, либо из схемы уставок (блок *IV*) в режиме автоматического управления.

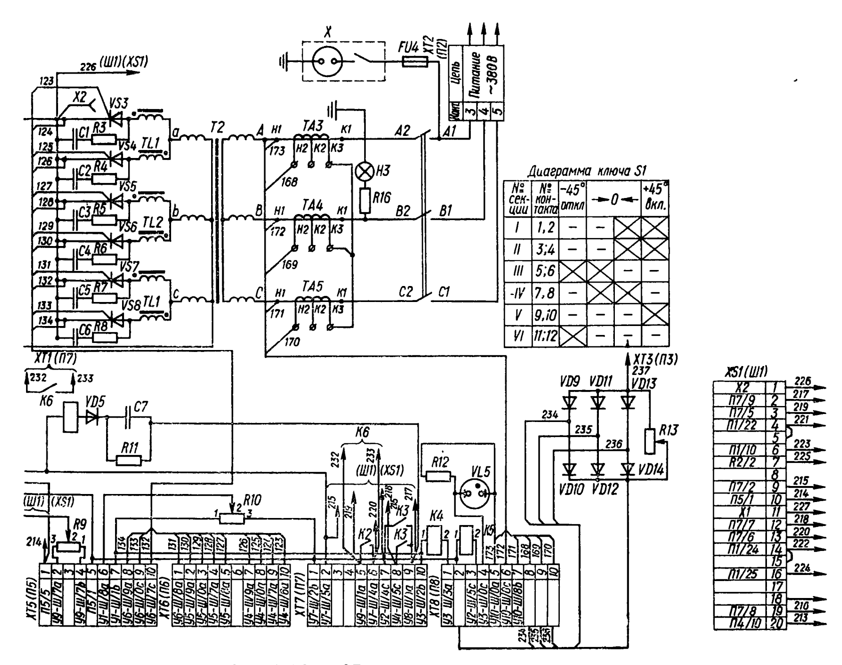
Напряжение в схему уставок (U_1) подается из суммирующего усилителя (блок *VII*) и корректируется в зависимости от сигналов, поступающих из схем пуска (блок *IV*), ограничения тока ротора и защиты от коротких замыканий (блок *VI*). Сигналы в суммирующий усилитель поступают из схем регулирования по напряжению статора $U_н$ (блок *VII*), компаундирования $U_т$ (блок *VIII*) и датчика тока ротора $U_р$. Схема пуска по скольжению (блок *IV*) управляется от геркона *K2*.

Уставка тока ротора при работе в автоматическом режиме задается потенциометром *R10*. Схема защиты пускового резистора и защиты от асинхронного хода двигателя (блок *V*) управляется от геркона *K3* в цепи пускового резистора. При отключении выключателя двигателя

включается цепь инвертирования (блок *IV*) и происходит форсированное гашение поля.

Питание схемы ЭСУ осуществляется от источника стабилизированного напряжения (блок *I*), принципиальная схема которого приведена на рис. X.31.

Блок I содержит транзисторный компенсационный стабилизатор напряжения 24 В и параметрический стабилизатор напряжения 5,6 В. Компенсационный стабилизатор напряжения 24 В выполнен на транзисторах *VT1—VT3*. Напряжение стабилизатора практически не изме-



ТВУ-50-180В и ТВУ-30-180В,

няется при изменении напряжения питающей сети в диапазоне 300—420 В и не зависит от тока нагрузки в диапазоне 0—400 мА (схема ЭСУ потребляет ток 300 мА). Стабилизатор защищен от коротких замыканий предохранителем *FU*.

Параметрический стабилизатор напряжения представляет собой однокаскадный стабилизатор на кремниевом стабилитроне *VD9*. На передней панели блока стабилизатора расположен также потенциометр *R3* ограничения тока возбуждения в режиме ручного управления.

Блок стабилизатора питается через выпрямитель *VD2—VD7* от блока трансформаторов *II*.

Принципиальная схема блока трансформаторов II приведена на рис. X.32. Блок состоит из трех трансформаторов *T1*, *T2*, *T3*, первичные обмотки *I* которых соединены в треугольник и питаются от сети 380 В через выключатель *QF5* (см. рис. X.29). С обмоток *II* снимается синхронизирующее напряжение, подаваемое в блоки импульсных каналов. С обмоток *III* снимается напряжение для питания выходных кас-

кадов блоков импульсных каналов. С обмоток *IV* снимаются напряжения для питания блока *I* стабилизатора.

На рис. X.33 приведена *принципиальная схема блока III импульсного канала*. Импульсный канал состоит из двух узлов: формирователя импульсов с фазосдвигающим устройством на транзисторах *VT1—VT3* и выходного усилителя на тиристоре *VD5*. Напряжения синхронизации и питания выходного тиристорного каскада поступают в блок *III* от блока *II* трансформаторов Благодаря соединению первичных

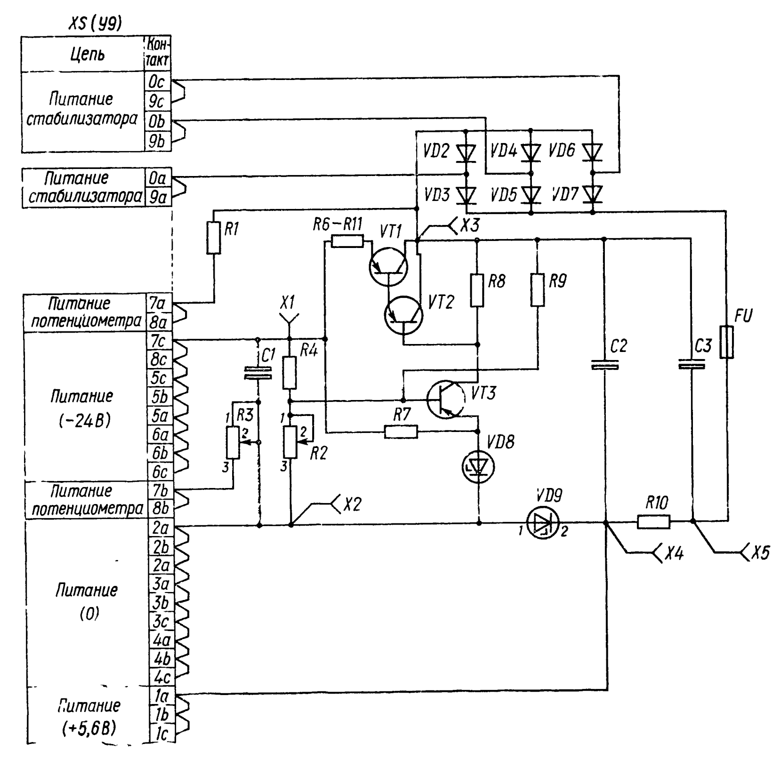


Рис. X.31. Принципиальная схема блока стабилизатора тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

обмоток трансформаторов блока *II* в треугольник напряжения синхронизации, поступающие в блоки *III*, на 30° сдвинуты относительно анодных напряжений тиристоров соответствующих фаз преобразователя. Положительная полуволна синхронизирующего напряжения через диод *VD1* поступает на базу транзистора *VT1* (*X1*) (рис. X.34,*а*) и в период t_1—t_2 транзистор *VT1* оказывается запертым, при этом емкость *C1* заряжается от стабилизированного источника напряжения через резисторы *R3* и *R4* (рис. X.34,*б*). Заряд емкости происходит по начальному участку экспоненты, что обеспечивает практически прямолинейный рост напряжения на конденсаторе *C1*. Потенциометр *R3* предназначен для подстройки значения амплитуды пилообразного напряжения U_{C1}. В момент времени t_2 напряжение U_{X1} на базе *VT1* достигает нуля, тран-

X (У10)

Контакт	Цепь
4a	Питание стабилизатора
7a	Синхронизация
5a	Питание усилителя
2a	Питание усилителя
3b	Питание стабилизатора
6b	Синхронизация
4b	Питание усилителя
2b	Питание усилителя
4c	Питание стабилизатора
7c	Синхронизация
5c	Питание усилителя
2c	Питание усилителя
0a	Питание (сеть)
0c	Питание (сеть)
8b	Питание (сеть)
3a	Питание
3c	Питание

Рис. X.32. Принципиальная схема блока трансформаторов тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

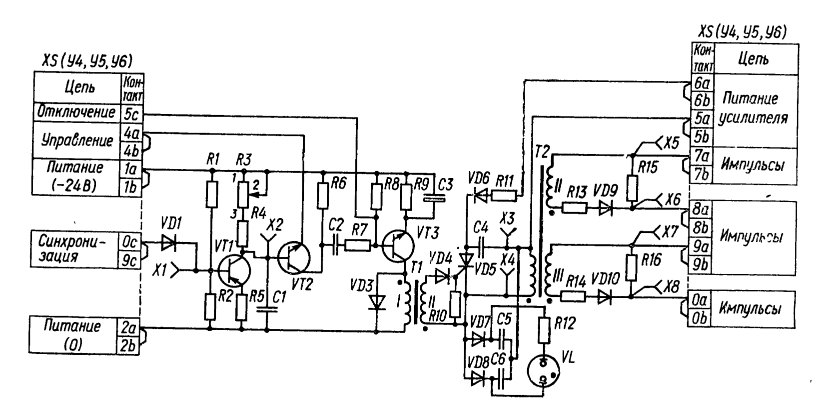


Рис. X.33. Принципиальная схема блока импульсного канала тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

зистор *VT1* открывается отрицательным напряжением, снимаемым с делителя *R1*—*R2*, и емкость *C1* быстро разряжается через транзистор *VT1*. В интервале времени t_2—t_3 диод *VD1* заперт, а транзистор *VT1* открыт. Как только потенциал базы транзистора *VT2* становится отрицательным относительно эмиттера, на который подается управляющее напряжение $U_у$ (см. рис. X.34,*б*) из блока уставок (IV) или с потенциометра *R9*, транзистор *VT2* открывается. На его коллекторе формируются прямоугольные импульсы длительностью, равной промежутку времени, в течение которого *VT2* открыт. Положительный перепад напряжения с коллектора *VT2* поступает через дифференцирующую цепь *C2*—*R7*—

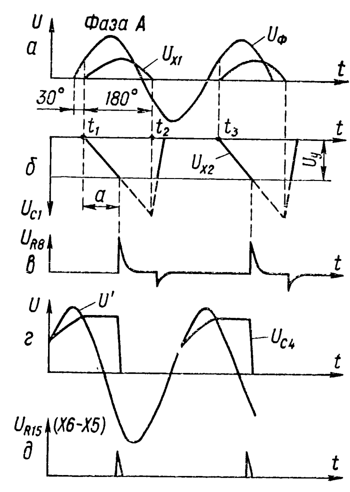


Рис. X.34. Диаграммы напряжений в импульсном канале тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

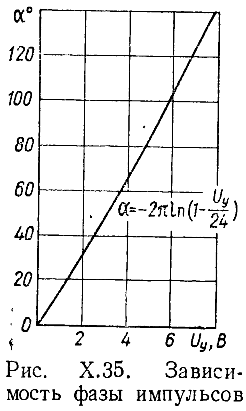


Рис. X.35. Зависимость фазы импульсов управления от управляющего напряжения тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

R8 на базу транзистора *VT3* (U_{R8}) (рис. X.34,*в*), усиливается и через трансформатор *T1* подается на управляющий электрод тиристора *VD5*. Через *VD5* происходит периодический разряд конденсатора *C4*, который заряжается через диод *VD6* от источника переменного напряжения *U′* (рис. X.34,*г*) фазы *C* (для канала, синхронизированного напряжением фаз *A* и *B*). Таким образом, к моменту прихода импульса управления на тиристор *VD5* конденсатор *C4* заряжен полностью. Выход тиристорного усилителя подан на первичную обмотку импульсного размножительного трансформатора *T2*, импульсы управления со вторичных обмоток которого (рис. X.34,*д*) подаются на управляющие электроды тиристоров преобразователя. Значение управляющего напряжения $U_у$, поданного на эмиттер *VT2*, определяет положение импульсов во времени и, следовательно, угол α (см. рис. X.34,*б*) зажигания тиристоров преобразователя, определяющий значение тока ротора. Зависимость фазы α импульсов управления от управляющего напряжения $U_у$ приведена на рис. X.35.

На рис. X.36 приведена *принципиальная схема блока IV пуска и уставок*. Схема уставок представляет собой цепь последовательно включенных эмиттерных повторителей *VT4*, *VT5*, *VT6*. На вход схемы

напряжение поступает из блока *VII* суммирующего усилителя; с выхода схемы (*X4*) напряжение управления поступает в импульсные каналы.

На входе схемы включена цепь ограничения напряжения возбуждения по минимуму, состоящая из резисторов *R10—R12* и диода *VD6*. Напряжение U_2, определяемое положением движка потенциометра *R11*, соответствующее необходимому значению максимального угла управления α (минимальному напряжению возбуждения), поступает

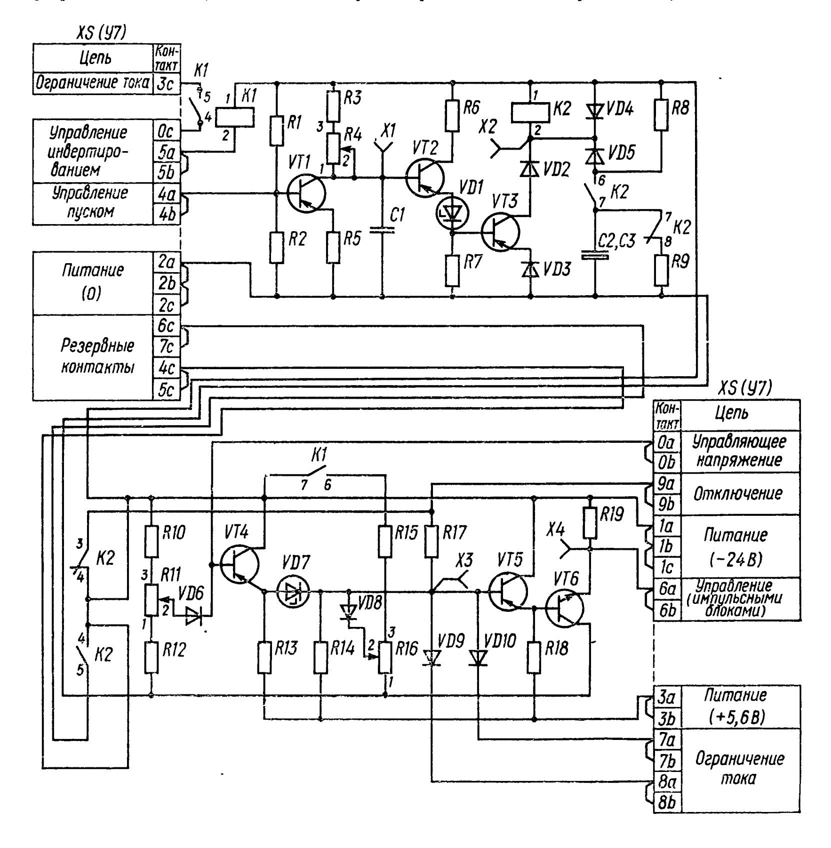


Рис. X.36. Принципиальная схема блока пуска и уставок тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

на базу транзистора *VT4* только в том случае, когда напряжение сигнала U_1 на входе, поступающее из блока VII, становится больше, чем U_2 (при $U_1 > U_2$, $U_у = U_2$). При $U_1 \leqslant U_2$ цепь ограничения не работает, так как диод *VD6* заперт (все потенциалы измеряются относительно нулевого потенциала (*X1* блока I); при сравнении потенциалов сравниваются их модули).

На базу транзистора *VT5* сведены цепи ограничений по току ротора (диоды *VD9*, *VD10*), цепь уставки угла инвертирования (*R15*,

R16, *VD8*), сигнал отключения импульсов управления (*R17*, размыкающие контакты реле *К2*).

Напряжение U_3 на катоде диода *VD9* соответствует требуемой уставке тока форсировки возбуждения. При $U_3 \leqslant U_1$ диод *VD9* закрыт и $U_у = U_1$; при $U_3 > U_1$ диод *VD9* открыт, $U_у = U_3$ независимо от значения U_1 и ток ротора ограничивается на заданном уровне.

Напряжение U_4 на катоде диода *VD10* соответствует уставке тока защиты ротора от длительной перегрузки.

При $U_4 \leqslant U_1$ диод *VD10* закрыт, и $U_у = U_1$; при $U_4 > U_1$ диод *VD10* открыт, $U_у = U_4$ независимо от значения U_1, и ток ротора ограничивается на уровне, близком к номинальному.

Напряжение U_5, определяемое положением движка потенциометра *R16* и соответствующее требуемому углу инвертирования (150—170°), поступает на базу *VT5* при замыкании контакта реле *К1*, которое срабатывает при отключении выключателя (контактора) двигателя. При этом $U_у = U_5$ и происходит гашение поля (тиристорный преобразователь переходит в инверторный режим). При отключении выключателя (контактора) двигателя включается также реле *К6*, удерживаемое током заряда конденсатора *С7* (см. рис. Х.30). Контакты реле *К6* шунтируют контакты геркона *К2* в цепи схемы пуска, поддерживая подачу управляющих импульсов на преобразователь. После окончания заряда конденсатора *С7* (время заряда 2—3 с, достаточное для спадания тока ротора до нуля) реле *К6* отпадает, и подача управляющих импульсов прекращается.

При срабатывании защиты от коротких замыканий на базу *VT5* через резистор *R17* подается отрицательное напряжение 24 В из блока VI. При этом $U_у$ становится больше амплитуды пилообразного напряжения в импульсных блоках, и поступление импульсов в тиристорный преобразователь прекращается.

Схема пуска предназначена для подачи возбуждения при заданном скольжении S_0 (как правило, $S_0 = 5$ %). Значение скольжения в момент подачи возбуждения устанавливается резистором *R4*. Схема пуска состоит из измерителя частоты скольжения, исполнительного реле и цепи временной блокировки реле. Датчиком частоты является геркон токового реле *К2*, включенного в цепь ротора (см. рис. Х.30). Геркон *К2* срабатывает при токе в цепи ротора больше 20 А. При пуске в обмотке ротора наводится переменная ЭДС, частота f которой при уменьшении скольжения уменьшается. На рис. Х.37,*а* изображена кривая тока ротора при пуске. Синхронно с изменением кривой тока в роторе с частотой $2f$ (рис. Х.37,*б*) замыкаются контакты геркона *К2*. На базу *VT1* через геркон *К2* подается запирающее напряжение 5,6 В.

На коллекторе *VT1* формируется пилообразное напряжение, при этом длительность «пилы» и ее амплитуда растут по мере уменьшения частоты f (рис. Х.37,*в*). В момент времени t_1, когда амплитуда «пилы» становится равной напряжению сравнения U_0 (напряжение стабилизации диода *VD1*), открываются транзисторы *VT2*, *VT3*, включается реле *К2*, размыкающий контакт которого заведен через резистор *R17* в цепь базы *VT5*. При отключенном реле *К2* $U_у$ больше амплитуды «пилы» импульсных блоков и импульсы управления отсутствуют. При срабатывании реле *К2* напряжение управления $U_у$ снижается до значения, соответствующего рабочему диапазону угла зажигания тиристоров преобразователя (рис. Х.37,*е*), и в обмотку ротора подается возбуждение. Диаграмма коллекторного напряжения *VT3* приведена на рис. Х.37,*г*. На рис. Х.37,*а* представлен случай, когда после момента подачи возбуждения изменяется полярность тока ротора. При этом

в момент t_2 контакты геркона *K2* в цепи ротора размыкаются, транзистор *VT1* открывается, конденсатор *C1* разряжается, и транзисторы *VT2* и *VT3* закрываются. Чтобы импульсы управления не исчезли и процесс подачи возбуждения не прервался, питание реле *K2* осуществляется за счет зарядного тока конденсатора *C2*, который входит в состав цепи временной задержки. На участке t_1—t_2 конденсатор *C2* заряжается через *R8*, так как диод *VD5* закрыт. На участке t_2—t_3 транзистор *VT3* закрыт, *VD5* открыт, и *C2* заряжается через параллельно соединенные *R8* и обмотку реле *K2*. Напряжение на обмотке реле *K2* уменьшается, но остается выше напряжения отпускания реле $U_{отпуск}$ (рис. X.37,*д*), благодаря чему реле остается включенным и подача управляющих импульсов на преобразователь не прерывается. В момент t_3 включаются *VT2*, *VT3* и реле *K2* вновь получает питание через *VT3*.

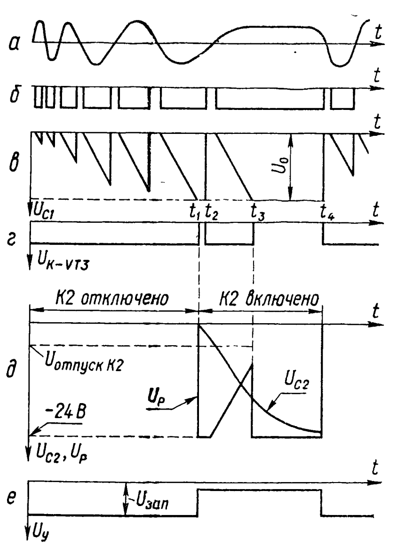


Рис. X.37. Временные диаграммы работы схемы пуска в функции скольжения тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

При возникновении асинхронного режима, в момент t_4 при первом же размыкании контактов геркона *K2*, реле *K2* в блоке IV отключается, так как транзистор *VT3* закрывается, а конденсатор *C2* заряжен полностью; при этом напряжение управления $U_у$ возрастает до значения напряжения запирания $U_{зап}$, подача импульсов управления прекращается, конденсатор *C2* разряжается, и цепь временной блокировки подготавливается к очередному включению возбуждения. Время заряда конденсатора *C2* составляет 1—2 с. В течение этого времени реле *K2* не отпадает, даже если транзистор *VT3* закрыт. Если же после подачи возбуждения двигатель не входит в синхронизм и скольжение *S* меньше S_0, то реле *K2* периодически с низкой частотой включается и отключается и, соответственно, периодически включается преобразователь.

Реле *K2* своими замыкающими контактами включает реле *K7* (см. рис. X.30). При отключенном реле *K2* стабилитроны *VD3*, *VD4*, *VD6*, *VD7* тиристорного ключа пускового резистора зашунтированы размыкающими контактами реле *K7*. Параллельное включение контактов реле *K7* и стабилитронов повышает надежность работы тиристорного ключа в пусковом режиме и при выпадении двигателя из синхронизма.

В инверторном режиме контакт геркона *K2* зашунтирован контактом реле *K6* на время, достаточное для полного спадания тока ротора до нуля.

На рис. X.38 приведена *принципиальная схема блока V защиты пускового резистора*. Блок осуществляет также защиту двигателя от длительного асинхронного хода в том случае, если во время асинхронного хода открываются тиристоры *VS1*, *VS2* в цепи пускового рези-

стора. Схема блока представляет собой конденсаторное реле времени При протекании тока больше 20 А замыкаются контакты герконов токового реле *К3*, включенного последовательно с пусковым резистором. Через контакт геркона *К3* по цепи *R4—R12* производится заряд конденсатора *C1*, *C2*. Когда напряжение на конденсаторе *C1*, *C2* становится равным напряжению уставки (напряжение на стабилитроне *VD2*), открываются транзисторы *VT1—VT3*, срабатывает сигнальное реле *К5* и выходное реле защит *К1* отключает двигатель от сети. При

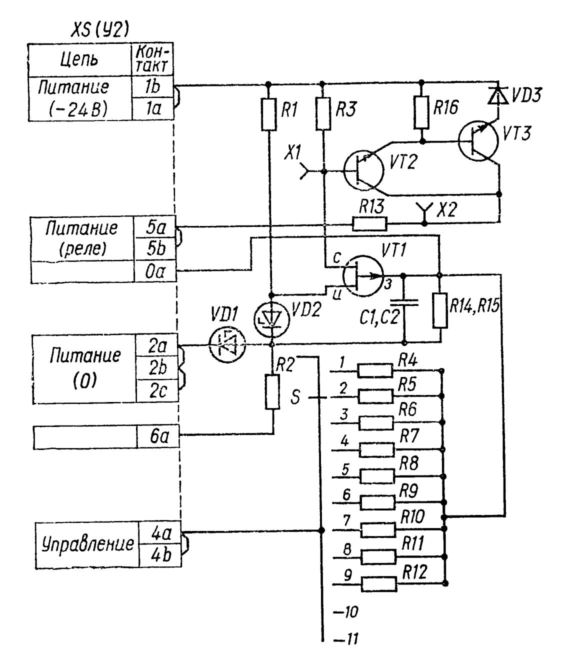


Рис. X.38. Принципиальная схема блока защиты пускового резистора тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

отключении двигателя от сети конденсатор *C1*, *C2* разряжается почти мгновенно через контакты реле *К1* блока IV (см. рис.X.36), шунтирующие цепь разряда конденсатора.

Время заряда *C1*, *C2* регулируется с помощью резисторов *R4—R12*. Примерная зависимость выдержки времени *t* реле времени блока V от положения *N* переключателя *S* и сопротивления *R* резисторов *R4—R12* приведена в табл. X.6.

Геркон *К3* при протекании тока через пусковой резистор *R2* шунтирует цепь базы транзистора *VT3* первого импульсного канала, отключая этот канал, что способствует запиранию тиристора *VS1* тиристорного ключа, если этот тиристор не закрывается после подачи возбуждения (такой режим возможен при угле регулирования α меньше 30°).

На рис. X.39 приведена *принципиальная схема блока VI ограничений и защиты по току ротора*. Датчиками тока ротора являются

Таблица X.6. **Зависимость выдержки времени защиты пускового резистора от сопротивления резисторов *R2—R12* ТВУ-30-180 и ТВУ-50-180**

Положение переключателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R, кОм	220	270	360	440	530	630	750	900	1100	∞
t, с	5	7	9	10	12	15	17	22	26	∞

трансформаторы тока *ТА3—ТА5* (см. рис. X.30), включенные в первичные цепи силового трансформатора *Т2*. Напряжение на выходе трансформаторов *Т3—Т5*, пропорциональное току возбуждения дви-

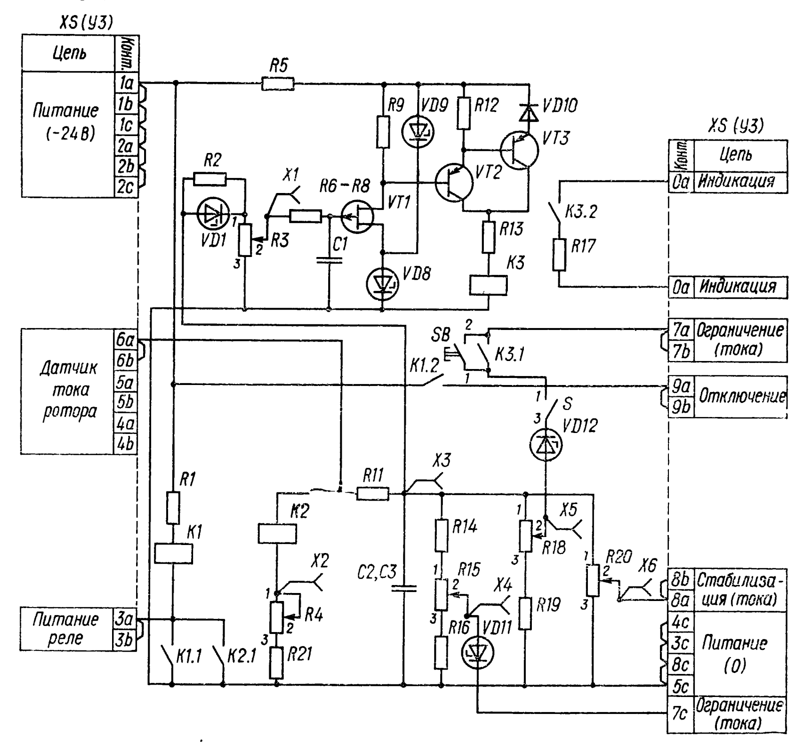


Рис. X.39. Принципиальная схема блока ограничений и защиты по току ротора тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

гателя, выпрямляется диодами *VD9—VD14*. Схема защиты от коротких замыканий содержит быстродействующие герконные реле *K1* и *K2*. Когда амплитуда выпрямленного напряжения превысит уставку, определяемую резистором *R4*, срабатывает реле *K2* и включает реле *K1*, которое ставится на самоблокировку и через сигнальное реле К4 включает выходное реле защит *K1*, и двигатель отключается от сети.

Выпрямленное напряжение, пропорциональное току ротора, подается также через фильтр (*X3*) в схему защиты ротора от длительной перегрузки и на потенциометры уставок *R15*, *R18*, *R20*.

Схема защиты ротора от длительной перегрузки представляет собой пороговый инерционный усилитель (транзисторы *VT1—VT3*), на вход которого подается напряжение, приблизительно пропорциональное квадрату тока возбуждения (квадратор *R2*, *R3*, *VD1*). Напряжение, снимаемое с движка потенциометра *R3*, подается через резисторы *R6—R8* на конденсатор *C1*. Если ток возбуждения не превышает тока уставки, определяемого резистором *R3*, то транзисторы *VT1—VT3* закрыты и реле *K3* обесточено. Если ток возбуждения длительно

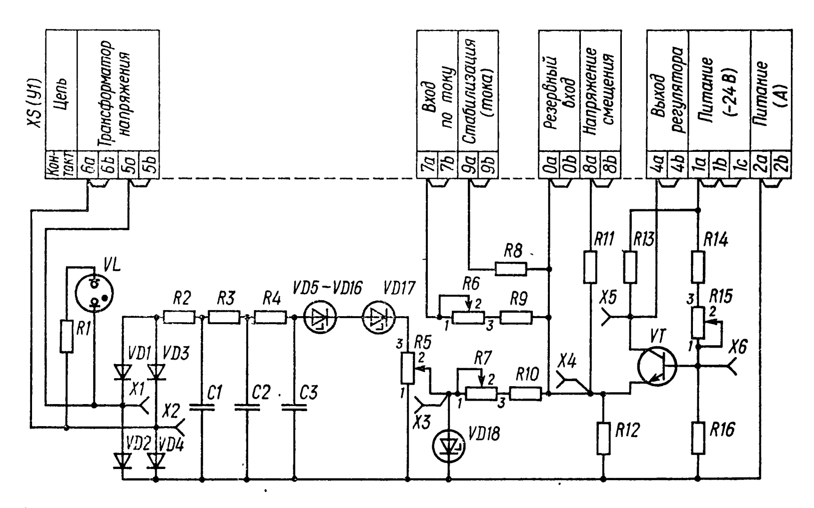


Рис. X.40. Принципиальная схема блока регулирования по напряжению статора тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

превышает номинальное значение, напряжение на конденсаторе *C1* возрастает с постоянной времени *C1* (*R6* + *R7* + *R8*) и при достижении заданной уставки U_0 полевой транзистор *VT1* открывается, открываются транзисторы *VT2* и *VT3*, срабатывает реле *K3*, включая в схему уставок (блок IV) цепь ограничения тока возбуждения (*R18—VD12*). Уровень тока ограничения регулируется потенциометром *R18*. Напряжение, снимаемое с потенциометра *R18*, подается на базу транзистора *VT5* через диод *VD10* (блок IV) и стабилитрон *VD12* (блок VI). Ток возбуждения удерживается на уровне ограничения до исчезновения причины, вызвавшей перегрузку. Время задержки *T* между возникновением перегрузки и началом ограничения зависит от значения тока возбуждения, предшествовавшего перегрузке I_1, и от значения тока перегрузки I_2. Параметры схемы выбраны таким образом, что при увеличении тока от $I_1 = 0{,}8 I_н$ до форсированного значения $I_2 = 1{,}4\ I_н$ время *T* составляет примерно 50 с при токе ограничения, равном 1,05 $I_н$. Значение максимального тока возбуждения устанавливается резистором *R15*.

Напряжение уставки U_0, при котором открывается полевой транзистор *VT1*, вычисляется по формуле $U_0 = U_{D8} - 1{,}5$ [В], где U_{D8}—

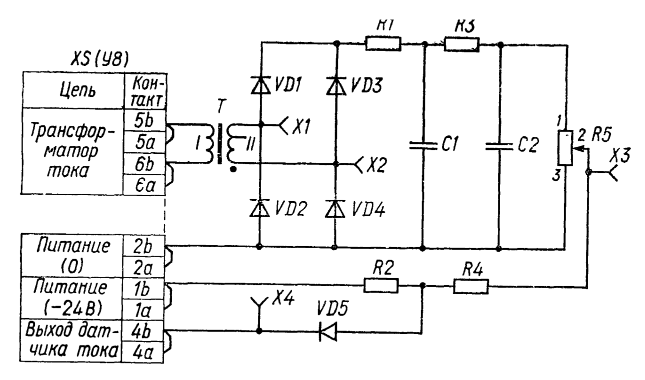


Рис. X.41. Принципиальная схема блока компаундирования тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180.

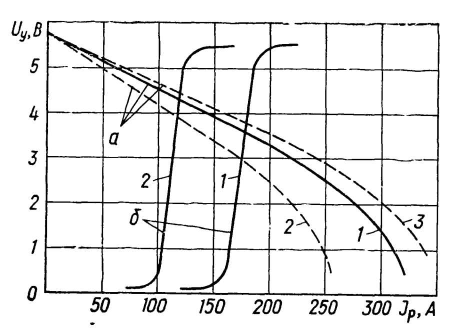


Рис. X.42. Характеристики стабилизации тока возбуждения для тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180:

а — зависимость $I_р = f(U_у)$ при разомкнутой обратной связи: *1* — при номинальном напряжении $U_{ном}$ питания ТВУ; *2* — при напряжении питания $0{,}8U_{ном}$; *3* — при напряжении питания $1{,}1U_{ном}$; *б* — характеристика обратной связи по току ротора $U_у = \varphi(I_р)$: *1* — при рабочей точке $I_р = 180$ А; *2* — при рабочей точке $I_р = 120$ А.

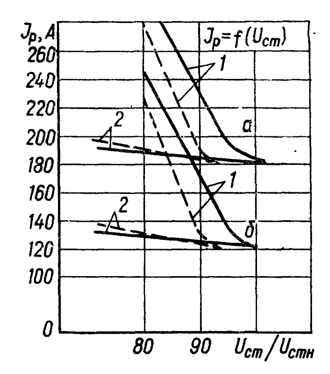


Рис. X.43. Характеристики регулирования тока возбуждения ($I_р$) в функции напряжения статора ($U_{ст}$) тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180:

а — рабочая точка $I_р = 180$ А; *б* — рабочая точка $I_р = 120$ А; *1* — максимальный коэффициент усиления; *2* — минимальный коэффициент усиления (сплошные линии — без зоны нечувствительности; пунктирные линии — с максимальной зоной нечувствительности).

напряжение стабилизации стабилитрона *VD8*, В; 1,5 — напряжение отсечки полевого транзистора *VT1*, В.

С потенциометра *R20* снимается напряжение, пропорциональное току ротора, и подается в суммирующий усилитель блока регулирования VII, чем осуществляется жесткая отрицательная обратная связь по току ротора.

Блок регулирования по напряжению статора VII (рис. X.40) состоит из датчика напряжения и суммирующего усилителя постоянного тока. Датчик напряжения состоит из выпрямителя на диодах *VD1—VD4* с фильтром *R2—R4*, *C1—C3*, источника эталонного напряжения на стабилитронах *VD5—VD17* и выходного потенциометра *R5*, зашунтированного стабилитроном *VD18* для создания зоны нечувствительности по напряжению статора. Напряжение на выходе датчика не меняется при изменении напряжения на входе до тех пор, пока потенциал движка потенциометра *R5* не станет ниже напряжения стабилизации стабилитрона *VD18*.

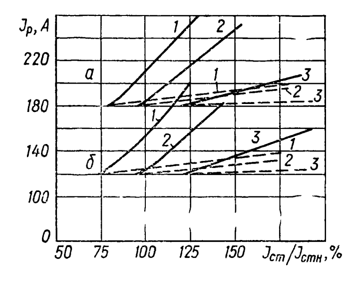


Рис. X.44. Характеристики регулирования тока возбуждения ($I_р$) в функции тока статора ($I_{ст}$) тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180:

а — рабочий ток $I_р = 180$ А; *б* — рабочий ток $I_р = 120$ А; *1—3* — пороги регулирования $0{,}75I_{ст.\,н}$; $1{,}0I_{ст.\,н}$; $1{,}25I_{ст.\,н}$ соответственно (сплошные линии — с максимальным коэффициентом усиления; пунктирные линии — с минимальным коэффициентом усиления)

Суммирующий усилитель постоянного тока (УПТ) представляет собой однокаскадный усилитель на транзисторе *VT*, включенном по схеме с общей базой, и производит суммирование и последующее усиление сигналов с датчиков напряжения и тока статора и сигнала обратной связи по току ротора. Коэффициенты усиления по каждому сигналу регулируются независимо потенциометрами *R7*, *R6* и *R20* (блок VI) соответственно.

Блок компаундирования VIII (рис. X.41) состоит из датчика тока статора и порогового устройства. Датчик тока представляет собой выпрямитель на диодах *VD1—VD4* с фильтром *R1*, *R3*, *C1*, *C2* и потенциометром *R5*. Напряжение с потенциометра *R5* через делитель *R2*, *R4* сравнивается с опорным напряжением и проходит через диод *VD5* на вход суммирующего усилителя (блок VII) только в том случае, когда ток статора больше заданного значения, устанавливаемого потенциометром уставки порогового тока статора *R5*, благодаря чему обеспечивается пороговое компаундирование. С помощью обратной связи по току ротора осуществляется стабилизация тока ротора при изменении напряжения питания ТВУ или сопротивления обмотки ротора.

На рис. X.42 приведены ориентировочные характеристики $I_р = f(U_у)$ при разомкнутой обратной связи, совмещенные с характеристиками обратной связи по току ротора $U_у = \varphi(I_р)$. Крутизна регулировочных кривых (а следовательно, и степень стабилизации тока ротора) зависит от коэффициента усиления обратной связи, а местоположение кривой на плоскости — от рабочей точки регулятора, которая определяется потенциалом остальных входов и смещением эмиттера УПТ. Коэффициент усиления регулятора, в том числе по напряжению и току статора, сам зависит от коэффициента обратной связи по току ротора и тем меньше, чем больше этот коэффициент, что и определяет предельно возможные коэффициенты обратной связи. На рис. X.43 приведены регулировочные кривые тока возбуждения по напряжению статора, а на рис. X.44 — по току статора при разных рабочих токах и разных коэффициентах усиления.

Подготовка возбудителя к работе

Перед включением возбудителя после монтажа, ремонта или длительного перерыва в работе подготовка возбудителя к работе производится согласно заводской инструкции в следующем объеме.

1. Проверяют отсутствие в шкафу посторонних предметов, исправность заземления ТВ, надежность затяжки крепежных и контактных соединений. Продувают шкаф ТВ сухим сжатым воздухом давлением не выше 0,2 МПа.

2. Измеряют сопротивление изоляции цепей ТВ, предварительно вынув блоки ЭСУ и отключив от схемы ТВ силовые и управляющие электроды тиристоров. Сопротивление изоляции должно быть не менее 5 МОм.

3. Производят настройку ТВ, при которой выполняют корректировку уставок схемы управления ТВ в соответствии с номинальным током возбуждения двигателя (настройка ТВ на заводе-изготовителе производится для номинального тока возбуждения двигателя 180 А). Настройку производят при отключенной статорной цепи двигателя и при работе ТВУ на ротор двигателя.

Перед настройкой производится опробование ТВ в режиме ручного регулирования, что позволяет проверить исправность блоков питания I, II и блоков III импульсных каналов. При опробовании ключ *S1* устанавливают в отключенное положение, переключатель *S4* на передней двери ТВУ — в положение «Ручное», потенциометр ручного регулирования *R9* — в крайнее левое положение; включают автомат *QF5* и, поворачивая движок потенциометра *R9* вправо, увеличивают плавно ток ротора от нуля до форсировочного значения. Регулировку максимального значения тока ротора производят потенциометром *R3* блока I. После опробования устанавливают ток возбуждения 30—50 А.

Отключают автомат *QF5*, отключают размыкающие блок-контакты масляного выключателя на клеммнике *XT1/29—XT1/30*, тумблер *S* в блоке VI устанавливают в отключенное положение (при этом отключается цепь ограничения тока ротора при длительной перегрузке).

Настройка ТВ производится в такой последовательности.

В режиме ручного регулирования устанавливают ток возбуждения, равный номинальному, и измеряют напряжение в *X3* блока VI, которое должно соответствовать значению, приведенному в табл. X.7. Если измеренное значение ниже приведенного в табл. X.7, резистором *R13* устанавливают табличное значение напряжения. Потенциометром *R20* блока VI устанавливают напряжение в *X6* в соответствии с табл. X.7. Затем переводят ТВ в режим автоматического регулирования, для чего в режиме ручного регулирования устанавливают ток возбуждения, равный 30—50 А, и переключают тумблер *S4* в положение «Автомат.».

Для корректировки значения тока форсировки движок резистора *R10* на лицевой панели шкафа устанавливают в крайнее правое положение и резистором *R15* (блок VI) устанавливают необходимое значение тока форсировки.

Для корректировки значения минимального тока возбуждения движок резистора *R10* устанавливают в крайнее левое положение и резистором *R11* (блок IV) устанавливают необходимое значение минимального тока ротора.

Настройка регулятора возбуждения заключается в настройке зоны нечувствительности и коэффициента усиления по напряжению статора и в настройке порога и коэффициента усиления по току статора. Для настройки регулятора по напряжению статора к ТВ подводят напряжение, соответствующее номинальному напряжению статора

Таблица X.7. **Значения напряжений в контрольных гнездах блоков ЭСУ ТВУ-30-180 и ТВУ-50-180**

Блок	Контрольное гнездо	Напряжение, В		
		при $I=0$	при $I=2/3I_{ном}$	при $I=I_{ном}$
I	*X1**		24 ± 0,5	
	*X4**		5,6 ± 0,6	
	X3	40	39	39
III	*X2*	7,5	3,5	3,0
	*X1**	7,5	7,5	7,5
IV	*X1**	0,8	9,8	9,8
	*X2**	24,0	1,6	1,6
	*X3**	22,0	3,4	2,5
	*X4**	22,0	4,0	3,2
V	*X1*		24	
	X2		0	
VI	*X1**	0	5,4	8,0
	X2	0,9	10,7	15,2
	*X3**	0,8	13	19
	X4	0,5	4,7	6,4
	X5	0,8	7,9	10,9
	*X6**	0,8	4,4	6,6
VII	*X2* отн. *X1*		100	
	X3		8,4	
	X4	5,9	6,3	6,3
	*X5**	5,9	12,2	11,4
	*X6**	6,0	6,4	6,4

Примечания. 1. Измерения во всех контрольных гнездах, кроме *X2* блока VII, производятся относительно *X2* блока I в режиме автоматического управления. 2. Значения напряжений, указанные без допусков, приведены для справок. 3. Значения напряжений приведены для $I_{ном} = 180$ А. При другом значении $I_{ном}$ некоторые напряжения могут отличаться от приведенных в таблице. 4. Знаком * обозначены контрольные гнезда, в которых рекомендуется измерять напряжения во время периодических осмотров.

(клеммы *XT1/9* и *XT1/26*; при этом от клемм должны быть отключены провода, идущие во внешние цепи), потенциометры *R5* и *R7* (блок VII) устанавливают в крайнее правое положение, потенциометром *R10* устанавливают номинальный ток возбуждения. Затем значение подведенного напряжения (соответствующего напряжению статора) устанавливают, исходя из требуемой зоны нечувствительности, и медленно поворачивают потенциометр *R5* до тех пор, пока ток возбуждения не начнет расти, после чего потенциометр *R5* фиксируют. Устанавливают подведенное напряжение равным номинальному напряжению статора и потенциометром *R10* — номинальный ток возбуждения. Снижают подведенное напряжение до значения, при котором требуется форсировка возбуждения, и потенциометром *R7* устанавливают форсировочный ток возбуждения, затем устанавливают подведенное напряжение равным номинальному напряжению статора и потенциометром *R10* подстраивают номинальный ток возбуждения. Указанные операции повторяют до тех пор, пока после восстановления номинального напряжения статора ток возбуждения не установится номинальным без подстройки, после чего фиксируют потенциометр *R7*.

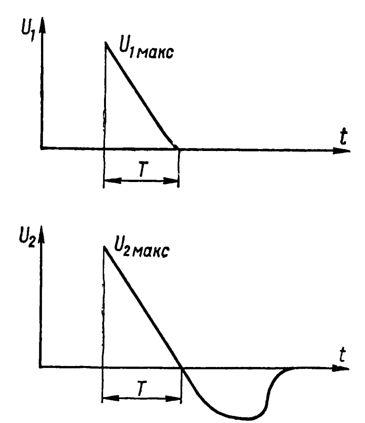


Рис. X.45. Осциллограммы импульсов в импульсном канале тиристорных возбудителей серий ТВУ-50-180 и ТВУ-30-180: U_1 — напряжение в контрольных гнездах *X8—X7* и *X6—X5* ($U_{1макс}$ = 8 ÷ 15 В); U_2 — напряжение в контрольных гнездах *X4—X3* ($U_{2макс}$ = 80 ÷ 100 В); T = 400 ÷ ÷ 700 мкс.

Для настройки регулятора возбуждения по току статора к ТВ (клеммы *XT1/21* и *XT1/23*) подводят ток, равный номинальному току статора, и потенциометром *R10* устанавливают номинальный ток возбуждения, предварительно поставив потенциометр *R5* (блок VIII) в крайнее левое положение, а потенциометр *R6* (блок VII) — в крайнее правое положение. Поворачивают плавно потенциометр *R5* до тех пор, пока ток возбуждения не начнет увеличиваться, после чего потенциометр *R5* фиксируют. Подведенный ток, соответствующий току статора, увеличивают на 10 %, и потенциометром *R6* устанавливают ток возбуждения, соответствующий требуемому коэффициенту компаундирования. Устанавливают ток, равный номинальному току статора, и потенциометром *R10* подстраивают номинальный ток возбуждения. Операцию повторяют до тех пор, пока после установления тока, равного номинальному току статора, ток возбуждения не установится номинальным без подстройки, после чего потенциометр *R6* фиксируют.

Если компаундирование по току статора для режима работы двигателя не требуется, блок VIII может быть вынут или потенциометр *R5* блока VIII оставлен в крайнем левом положении.

Для корректировки порога срабатывания схемы ограничения тока ротора потенциометром *R10* устанавливают ток ротора, равный $I_{ном}$, включают тумблер *S* блока VI, нажимают кнопку *SB* и потенциометром *R18* блока VI устанавливают ток ротора, равный $(0{,}7 \div 0{,}8) I_{ном}$, отпускают кнопку *SB* и, медленно поворачивая потенциометр *R3* блока

Таблица X.8. **Основные параметры тиристорных возбудителей серии**

Тип возбудителя	Номинальный выпрямленный ток, А	Номинальное выпрямленное напряжение, В	Максимальное выпрямленное напряжение при $U_{ном}$ питающей сети, В	Схема выпрямления
ТЕ8-320/48	320	48	80	Трехфазная с нулевым выводом
ТЕ8-320/75		75	130	
ТЕ8-320/115		115	200	
ТЕ8-320/150		150	260	Трехфазная мостовая
ТЕ8-320/230		230	400	

VI вправо, устанавливают порог срабатывания при установленном значении номинального тока ротора. Срабатывание схемы ограничения определяется по резкому спаданию тока ротора до $(0{,}7 \div 0{,}8)\ I_{ном}$. Затем отключают тумблер *S*, потенциометром *R10* устанавливают ток ротора, равный $(1{,}2 \div 1{,}3)\ I_{ном}$, включают тумблер *S*, нажимают кнопку *SB* и устанавливают резистором *R18* ток ограничения, равный $1{,}05 I_{ном}$.

Схема ограничения в блоке VI содержит *RC*-контур с большой постоянной времени и поэтому настройку схемы ограничения следует производить с выдержками времени 5 мин после каждого изменения режима ТВ.

После настройки ТВ следует измерить напряжения в контрольных гнездах для использования этих данных при проведении работ на ТВ в процессе эксплуатации. Значения напряжений и осциллограммы в контрольных гнездах ТВ приведены в табл. X.7 и на рис. X.45.

Возбудители серии ТЕ8-320

Основные параметры возбудителей приведены в табл. X.8. Возбудитель содержит тиристорный преобразователь, пусковой резистор с тиристорным ключом, релейную панель, электронную систему управления (ЭСУ), автоматический регулятор возбуждения.

В состав ЭСУ входят: 1) автоматический регулятор возбуждения (блок А); 2) блок управления, ограничения и защит (блок Б); 3) фазоимпульсный блок (блок В); 4) блок питания (блок Г).

В возбудителях серии ТЕ8-320 предусмотрены автоматический, ручной и аварийный режимы управления током возбуждения. В режиме аварийного управления возбудитель обеспечивает только плавную регулировку тока возбуждения (схемы пуска, гашения поля, защит выведены из работы).

Тиристорный преобразователь собран по схеме трехфазного выпрямителя с нулевым выводом или по мостовой схеме и состоит соответственно из 6 или 12 тиристоров типа ТЛ-250, защищенных *RC*-цепочками, шунтирующих резисторов, делителей тока *T12—T14* (рис. X.46; см. с. 328—329). На управляющие электроды тиристоров поступают импульсы управления из фазоимпульсного блока (блок В). В режиме выпрямления диапазон угла регулирования составляет 0—90°, в режиме инвертирования — 150—170°. Угол регулирования прямо пропорционален напряжению управления, поступающему с выхода схемы уставок в фазоимпульсный блок.

Сопротивление пускового резистора, Ом	Тип трансформатора	Первичное напряжение, В	Вторичное напряжение, В	Группа соединений
0,8	ТСЗВ-40/0,5 ТСЗВ-63/0,5 ТСЗВ-100/0,5	380	160 230 350	$У/У_0$
1,6	ТСЗВ-100/0,5 ТСЗВ-160/0.5		230 350	$У/У$

Схема и диаграммы напряжений фазоимпульсного блока приведены на рис. Х.47, Х.48 (блок В).

Напряжения синхронизации U_2, поступающие из блока питания в фазоимпульсный блок, сдвинуты на 30° относительно фазных напряжений $U_ф$ тиристоров соответствующих фаз преобразователя. Положительная полуволна синхронизирующего напряжения через диод *V1* поступает на базу транзистора *V2*. Транзистор запирается на время t_1—t_2, и конденсатор *C1* заряжается от стабилизированного источника напряжения через резисторы *R2*, *R3* (напряжение U_3). Постоянная времени заряда принята равной 10 мс. В момент времени t_2 напряжение U_2 на базе транзистора *V2* достигает нуля, транзистор открывается отрицательным напряжением, поступающим на его базу через резистор *R1*, и конденсатор *C1* разряжается через транзистор *V2*. В интервале времени t_2—t_3 транзистор *V2* находится в открытом состоянии, а диод *V1* заперт.

Как только потенциал базы транзистора *V3* становится отрицательным по отношению к потенциалу эмиттера, на который с выхода схемы уставок поступает отрицательное управляющее напряжение $U_у$, транзистор *V3* открывается. На его коллекторе формируются прямоугольные импульсы длительностью, равной промежутку времени, в течение которого транзистор *V3* открыт. Передний фронт импульса при изменении значения управляющего напряжения $U_у$ сдвигается по фазе, а задний фронт совпадает по времени с моментом разряда конденсатора *C1*. Импульс усиливается транзистором *V4*. Положительный перепад напряжения с коллектора транзистора *V4* подается через дифференцирующую цепь *C2*, *R8* на базу транзистора *V6*, эмиттер которого включен на базу выходного транзистора *V7*. Выход усилителя на транзисторе *V7* соединен с первичной обмоткой трансформатора размножения импульсов *T1*. Импульсы управления U_4 со вторичных обмоток трансформатора *T1* поступают на управляющие электроды тиристоров тиристорного выпрямителя. Значение управляющего напряжения $U_у$ определяет положение импульсов управления во времени и, следовательно, значение угла зажигания тиристоров α.

Каждый импульсный канал содержит четыре гальванически разделенных импульсных выхода.

В тиристорных возбудителях с нулевой схемой выпрямления фазоимпульсный блок содержит три импульсных канала (три платы).

Схема блока управления, ограничения и защит (блок Б) приведена на рис. Х.49. Схема уставок (плата Б-1) представляет собой цепь трех

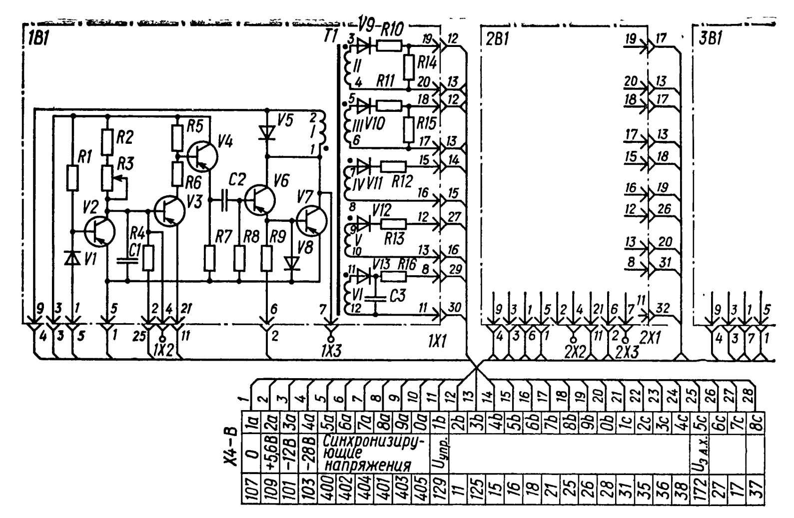


Рис. X.47. Принципиальная схема фазоимпульсного блока (блок В)

последовательно включенных эмиттерных повторителей *V2*, *V7*, *V8*. На вход схемы (контрольное гнездо *X1*) поступает напряжение с потенциометра *R14* (см. рис. X.46) в ручном режиме или из блока АРВ (блок А) в автоматическом режиме. С выхода схемы (контрольное гнездо *X3*) напряжение управления $U_у$ поступает в импульсные каналы фазоимпульсного блока.

На входе схемы имеется цепь ограничения напряжения возбуждения по минимуму, состоящая из резисторов *R5*, *R32* и диода *V1*. Напряжение U_2, определяемое положением движка потенциометра *R32* и соответствующее необходимому значению максимального угла управления, подается на базу транзистора *V2* только в том случае, когда напряжение сигнала U (гнездо *X1*) становится больше, чем U_2. При напряжении сигнала $U > U_2$ напряжение управления $U_у = U_2$, при $U \leqslant U_2$ напряжение управления $U_у = U$.

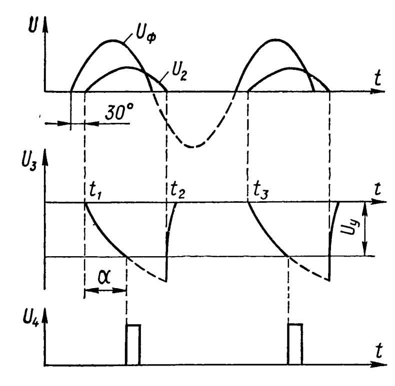
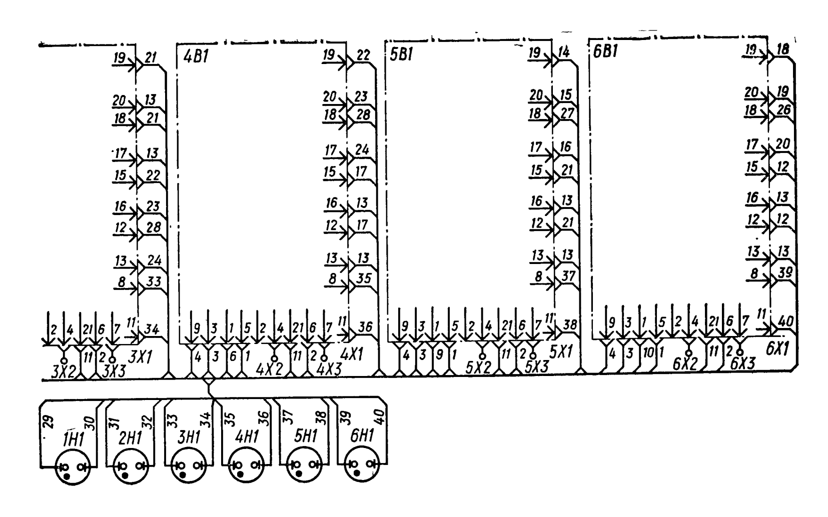


Рис. X.48. Диаграммы напряжений фазоимпульсного блока тиристорного возбудителя серии ТЕ8-320.

Цепи уставок угла инвертирования, максимального тока возбуждения, выходная цепь схемы ограничения тока ротора, цепь сеточной защиты от короткого замыкания, выходная цепь схемы пуска сведены на базу транзистора *V7* схемы уставок.

Напряжение, соответствующее требуемому углу инвертирования 150—170° и определяемое положением движка потенциометра *R31*, поступает на базу транзистора *V7* при замыкании контакта реле



тиристорного возбудителя серии ТЕ8-320.

К3, которое включается при отключении масляного выключателя двигателя.

Цепь ограничения максимального тока возбуждения (*R12*, *R29*, *V4*) питается от датчика тока ротора и действует при снижении напряжения на базе транзистора *V7* до значения, достаточного для открывания стабилитрона *V4*. Значение тока ротора при форсировке определяется положением движка потенциометра *R29*.

Датчик тока ротора состоит из трех трансформаторов тока *Т2*—*Т4* (см. рис. X.46), первичные обмотки которых включены во вторичную цепь силового трансформатора *Т1* преобразователя, и диодного выпрямителя *V12*—*V17* (блок питания Г). Постоянное напряжение, пропорциональное току ротора, снимается с резистора *R12* (блок Г).

Схема порогового ограничения тока ротора (плата Б-2) также питается от датчика тока ротора. Напряжение с потенциометра *R33* подается через стабилитрон *V9* и резистор на конденсаторы *С2* и *С1*. Если ток возбуждения становится больше номинального и длительно удерживается на повышенном уровне, то напряжение на конденсаторах *С1*, *С2* возрастает, и спустя некоторое время, определяемое постоянной времени *С1*, *С2*, *R11* и значением перегрузки, включается усилитель интегральной схемы *А1* и срабатывает реле *К3*. Контакты реле *К3* в цепи резистора *R13* замыкаются, подавая напряжение на базу транзистора *V7* через потенциометр *R30*. При этом ток возбуждения снизится до уровня ограничения и будет удерживаться на этом уровне до устранения причины, вызвавшей перегрузку. Параметры схемы выбраны таким образом, что при токе ротора 1,4 $I_{ном}$ время ограничения составляет 50 с и ток ограничивается до значения 1,05 $I_{ном}$. Кнопка *S1* предназначена для отключения конденсатора *С1*, что дает возможность выставить необходимую уставку номинального тока ротора. При работе возбудителя в автоматическом режиме схема порогового ограничения тока ротора отключается переключателем *S5*.

Схема защиты от коротких замыканий (плата Б-1) состоит из реле *К1*, *К2*. Одна обмотка реле *К1* подключена к датчику ротора через по-

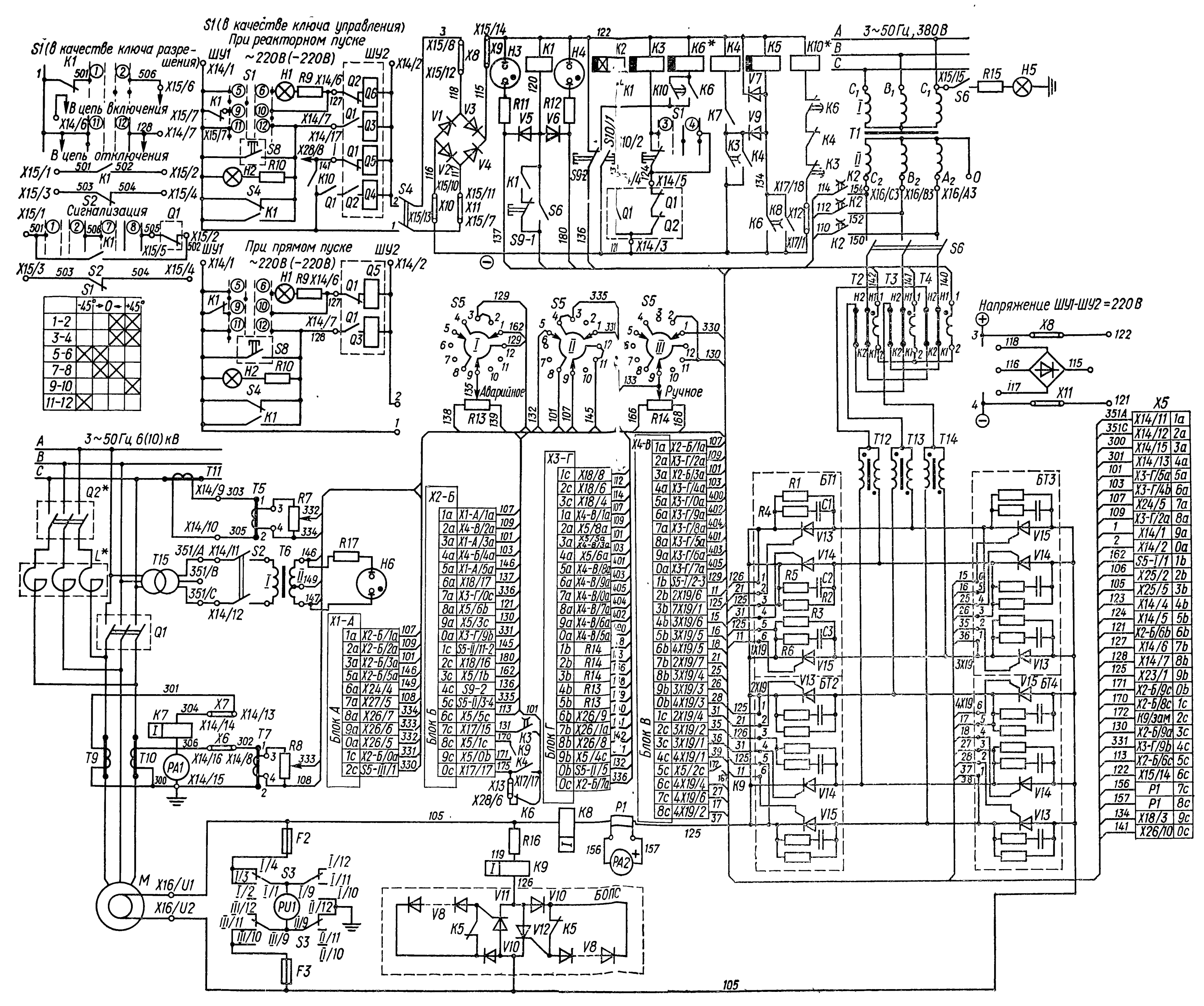


Рис. X.46. Принципиальная схема тиристорного возбудителя серии ТЕ8-320.

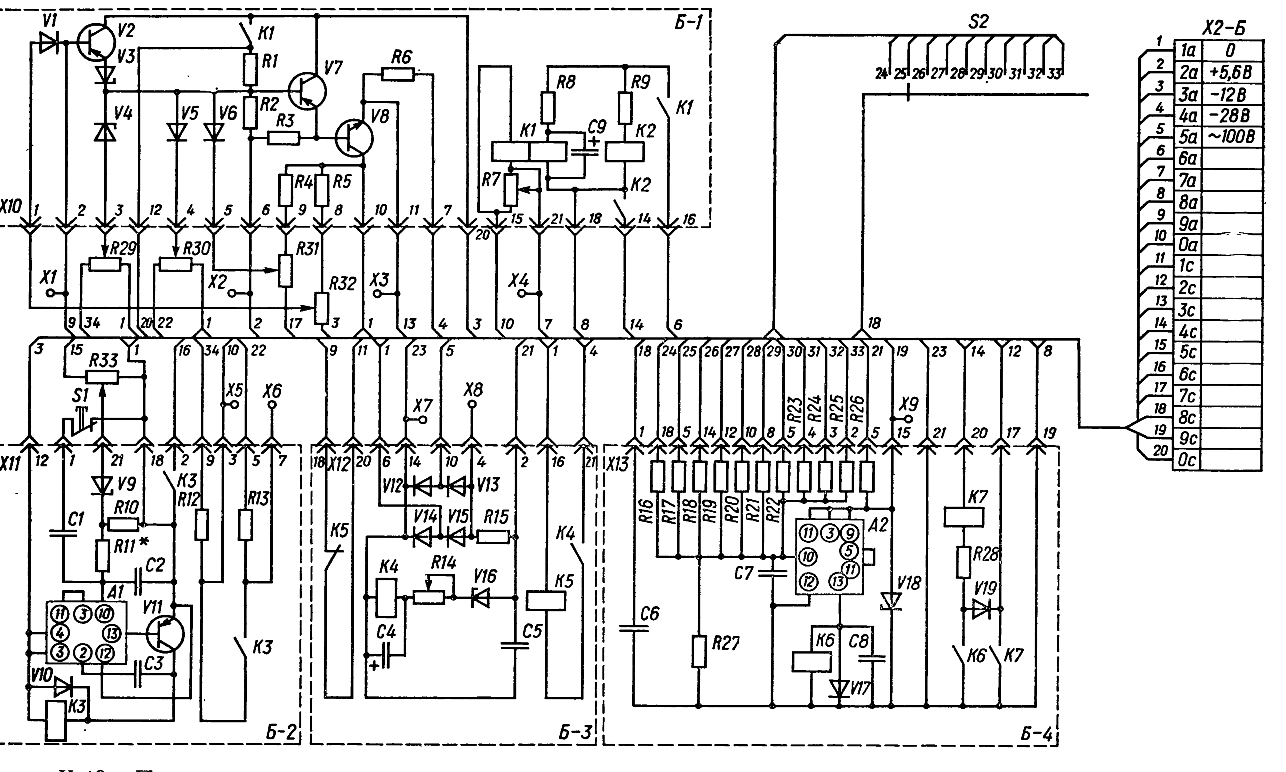


Рис. X.49. Принципиальная схема блока управления, ограничения и защит тиристорного возбудителя серии ТЕ8-320.

тенциометр *R7*, определяющий порог срабатывания схемы защиты. При возникновении короткого замыкания в цепи обмотки ротора реле *K1* срабатывает, самоблокируется через резистор *R8* и вторую обмотку, включает реле *K2* и своим замыкающим контактом подает — 12 В на базу транзистора *V7* схемы уставок, отключая тем самым импульсы управления тиристорами. Реле *K2* включает реле защит *K1*, действующее на отключение выключателя двигателя.

Схема защиты от длительного асинхронного хода (плата Б-4) реагирует на протекание тока через пусковой резистор *R16*. Асинхронный ход сопровождается возникновением в обмотке ротора переменной составляющей напряжения. Если в цепи реле *K8* протекает ток, реле *K5* включено, и ток через резистор *R16* протекает в том случае, когда амплитуда напряжения на роторе превысит порог срабатывания стабилитронов *V8*. При отпадании реле *K5*, например вследствие исчезновения тока в цепи реле *K8*, его контакты шунтируют стабилитроны *V8* в цепи пускового резистора, и ток через резистор *R16* будет протекать как при высоких, так и при низких значениях напряжения на обмотке ротора. Датчиком тока в цепи резистора *R16* являются контакты герконного реле *K9*, замыкающиеся при протекании через резистор *R16* тока более 20 А. При замыкании контактов реле *K9* включается цепь заряда конденсаторов *C6*, *C7*, входящих в схему реле времени защиты. Когда напряжение на конденсаторе *C7* станет равным напряжению уставки интегральной микросхемы *A2*, включаются реле *K6*, *K7* и *K1*, выключатель двигателя отключается, включается реле *K3*, и выпрямитель переходит в инверторный режим. Время заряда конденсатора *C7* устанавливается переключателем *S2*.

При протекании тока через резистор *R16* контактом реле *K9* периодически отключается первый импульсный канал фазоимпульсного блока, что способствует запиранию тиристора *V11*, если этот тиристор не закрывается после подачи возбуждения. Такой режим возможен при угле регулирования от 0 до 30°, при большем угле тиристоры *V11*, *V12* закрываются вследствие перехода напряжения возбуждения через нуль.

Схема защиты от асинхронного хода одновременно осуществляет функцию реле обрыва поля. При исчезновении тока в цепи ротора вследствие обрыва цепи возбуждения возникает режим периодического включения реле *K5*, обусловленный тем, что тиристорный выпрямитель питает цепь *K8*—*K9*—*R16*, которая включается только при отпадании реле *K5*, контакты которого шунтируют стабилитроны *V8*. Схема, состоящая из преобразователя, реле *K5*, *K8*, *K9*, представляет собой автогенератор, который работает с частотой, определяемой временем отпадания реле *K5*. Периодическое включение реле *K9* также приводит к срабатыванию реле времени защиты от асинхронного хода и отключению выключателя двигателя.

При исчезновении тока в цепи ротора вследствие отключения тиристорного выпрямителя отпадают реле *K8* и *K5*, двигатель переходит в асинхронный режим, и защита от асинхронного хода действует в рассмотренной выше последовательности.

Схема пороговой форсировки (плата Б-3) питается от трансформатора напряжения *T15* (см. рис. X.46) через автоматический выключатель *S2* и разделительный трансформатор *T6*. Переменное напряжение 100 В выпрямляется диодами *V12*—*V15*, сглаживается фильтром *R15*, *C5* и подается через стабилитрон *V16* на обмотку реле *K4*. Если значение этого напряжения превышает порог срабатывания стабилитрона, реле *K4* и *K5* подтянуты. При падении напряжения в статорной сети ниже 80—85 % номинального реле *K4*, *K5* отпадают. При этом контакты реле *K5* шунтируют цепь базы транзистора *V2*, благодаря чему уп-

равляющее напряжение и угол зажигания тиристоров становятся равными нулю, в результате чего происходит форсировка возбуждения. Отключение форсировки происходит при повышении напряжения статорной сети до 90—92 % номинального значения.

Уставка напряжения форсировки регулируется потенциометром *R14*.

В автоматическом режиме схема пороговой форсировки отключается переключателем *S5*.

Блок питания (блок Г) состоит из трех трансформаторов *Т1—Т3* (рис. Х.50). С обмоток III синхронизирующее напряжение подается в фазоимпульсный блок. Транзисторный стабилизатор напряжения —12 В выполнен на транзисторе *V10*. Стабилизатор защищен от короткого замыкания на выходе с помощью резистора *R3*. Параметрический стабилизатор напряжения смещения + 5,6 В выполнен на стабилитроне *V9*. Блок стабилизатора питается от выпрямителя *V1—V6*.

Схема пуска. При включении масляного выключателя двигателя срабатывает реле *К2* (см. рис. Х.46), подавая напряжение в блок питания. Одновременно размыкающие блок-контакты выключателя отключают реле инвертирования *К3*, отпадающее с определенной выдержкой времени. За время отпадания реле *К3* ток статора нарастает до значения, достаточного для срабатывания реле тока *К7*. При срабатывании реле *К7* срабатывает реле *К4*, через замыкающие контакты которого на базу транзистора *V7* схемы уставок поступает напряжение —12 В. Управляющее напряжение при этом превышает амплитуду «пилы» в импульсном канале фазоимпульсного блока, и импульсы управления в тиристорный выпрямитель не поступают. В процессе пуска при подсинхронной скорости ток статора снижается до значения, при котором реле *К7* отпадает. Цепь реле *К4* размыкается, и с этого момента управляющее напряжение определяется напряжением на входе схемы уставок.

Во время пуска параллельно ротору включается пусковой резистор *R16*. Блок управления пусковым резистором состоит из тиристоров *V11*, *V12*, диодно-стабилитронных цепей *V8*, *V10*, реле *К9* и *К5*. В пусковом режиме в цепи ротора индуктируется переменное напряжение с частотой скольжения. Амплитуда напряжения, при которой включаются тиристоры *V11*, *V12*, не должна превышать 300 В для возбудителей с нулевой схемой выпрямления и 600 В — для возбудителей с мостовой схемой. Во время пуска реле *К5* включено через замыкающие контакты реле *К4*, тиристоры *V11*, *V12* периодически открываются напряжением, индуктированным в обмотке ротора, и по цепи пускового резистора протекает ток. При этом периодически замыкаются контакты реле *К9*. После подачи возбуждения тиристор *V12* отключается, а отключение тиристора *V11* происходит при кратковременном снижении напряжения на обмотке возбуждения до нуля. После подачи возбуждения реле *К5* остается включенным через замыкающие контакты реле *К8*, обмотка которого включена в выходную цепь выпрямителя.

При отключении масляного выключателя срабатывает реле *К3*, которое своими замыкающими контактами включает цепь инвертирования, и происходит форсированное гашение поля. Питание блоков ЭСУ после отключения масляного выключателя осуществляется в течение 1,5—2 с за счет временной задержки при размыкании контактов реле *К2*, включенных в цепь трансформаторов *Т1—Т3* блока питания.

Автоматический регулятор возбуждения (АРВ)

АРВ состоит из следующих основных устройств: 1) измерительных устройств напряжения и тока статора, тока ротора; 2) функциональных преобразователей в виде датчика статического режима (ДСР), датчика

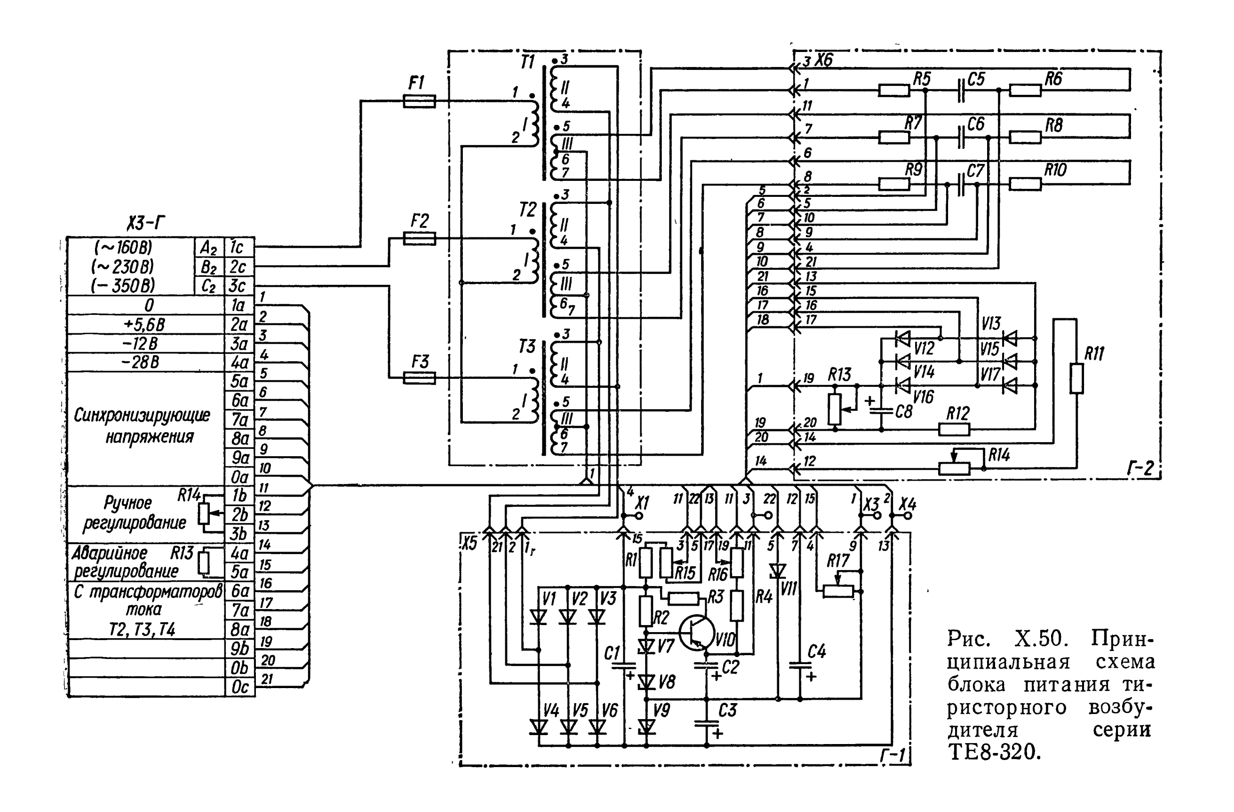


Рис. X.50. Принципиальная схема блока питания тиристорного возбудителя серии ТЕ8-320.

Таблица X.9. **Варианты включения регулятора АРВ тиристорного воз**

Вариант включения	Назначение регулятора		Параметр регулирования	
	для всех вариантов	специальное	для всех вариантов	специальный
АРВ-1	Стабилизация тока возбуждения при изменении температуры и напряжения питания возбудителя; повышение устойчивости при глубоких посадках напряжения; поддержание напряжения статора	Стабилизация тока возбуждения при изменении температуры и напряжения питания возбудителя	По напряжению статора и току возбуждения	По току возбуждения
АРВ-2		—		—
АРВ-3		Повышение устойчивости при увеличении нагрузки на валу		По полному току статора
АРВ-4		Поддержание cos φ узла		По углу φ узла
АРВ-5		Снижение потерь в узле нагрузки		По реактивному току узла
АРВ-6		Снижение потерь в машине		По реактивному току статора
АРВ-7		Распределение активных нагрузок		По активному току статора
АРВ-8		Демпфирование колебаний ротора		По внутреннему углу машины
АРВ-9		Снижение потерь в узле нагрузки и демпфирование колебаний ротора		По реактивному току узла, по внутреннему углу машины
АРВ-10		Поддержание cos φ узла и демпфирование колебаний ротора		По углу φ узла и по внутреннему углу машины

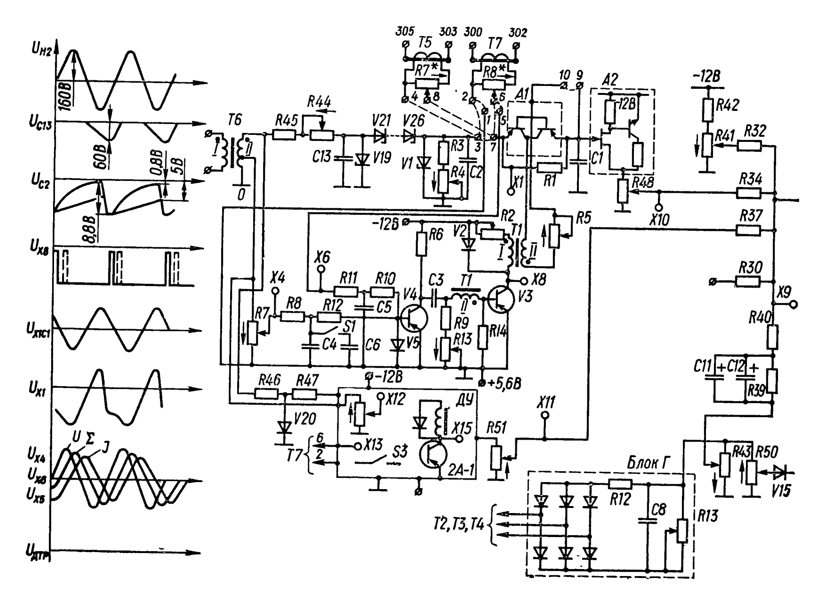
Примечания. 1. При работе регулятора неиспользуемые платы вынимаются включения АРВ-2 клеммы *9*, *10* не замыкать накоротко. При замкнутых нако в гнезде *X4*, предварительно выключив блокинг-генератор.

Применяемые узлы: общие функционально-нальные	Применяемые узлы: специальные функциональные	Применяемые узлы: платы блока А	Положение перемычек на панели переключений	Фаза: напряжения на трансформаторе $T6$	Фаза: тока фидера на трансформаторе $T5$	Фаза: тока статора на трансформаторе $T7$
ДТР, УН, УТ, ФИУ		А-4	—			
	Т6, ДСР, ДН, ОТР	1А-1, А-2, А-4 (А-3 не обязательно)	1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (3–7, 9–10)	Любая		
	Т6, ДН, ДСР, ДТС, ОТР		1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (2–3, 6–7, 9–10)	AC BA CB		A B C
	Т6, ДН, ДСР, ДТФ, ОТР		1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (3–7, 4–1, 8–5)	CB AC BA	A B C	
			1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (2–3, 6–7)	BA CB AC	A B C	
	Т6, ДН, ДСР, ДТС, ОТР		1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (2–3, 6–7)	BA CB AC		A B C
		1А-1, А-2, А-3, А-4	1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (3–4, 7–8)	BC CA AB		A B C
			1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (1–2, 5–6, 3–7)	CB AC BA		A B C
	Т6, ДН, ДСР, ДУ, ДТФ, ДТС, ОТР	1А-1, 2А-1, А-2, А-3, А-4	1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (3–4, 7–8)	BA CB AC	A B C	C A B
			1 2 3 4 1 9 5 6 7 8 5 10 (3–7, 4–1, 8–5)	CB AC BA		A B C

из блока А; при изъятии платы А-3 включается тумблер $S5$. 2. При варианте ротко клеммах *9*, *10* потенциометром $R7$ в блоке А необходимо снять напряжение

угла (ДУ), ограничителя тока ротора (ОТР), формирующих сигналы параметров регулирования; 3) усилительного устройства.

Измерительное устройство напряжения статора представляет собой датчик напряжения (ДН) (плата А-2 блока А), подключенный через разделительный трансформатор *T6* к трансформатору напряжения *T15*. Измерительное устройство токов статора (ДТС) и фидера (ДТФ) состоит из трансформаторов тока *T10*, *T11* с потенциометрическими делителями *R7*, *R8*. Измерительным устройством тока ротора является рассмотренный выше датчик тока ротора (ДТР).



ДСР (плата 1А-1 блока А) служит для выработки сигнала постоянного тока, значение которого пропорционально напряжению статора и одной из следующих величин: активному, реактивному или полному току статора; углу сдвига фаз φ нагрузки двигателя или питающего узла. Получение требуемого сигнала на выходе ДСР обеспечивается соответствующей настройкой и положением перемычек на панели переключений (плата А-2). ДУ (плата 2А-1) работает аналогично ДСР и предназначен для измерения угла нагрузки, когда ДСР измеряет другие параметры. ОТР (платы А-3 и А-4) при токе ротора выше номинального включает с определенной выдержкой времени отрицательную обратную связь по току ротора, снижающую ток ротора до номинального значения.

Усилитель УН (плата А-4) суммирует и усиливает изменения сигналов с выходов ДСР, ДН, ДУ, ДТР и ОТР и через усилитель постоянного тока (УТ) схемы уставок (блок Б) воздействует на фазу управляющих импульсов, вырабатываемых фазоимпульсным устройством (ФИУ).

Регулятор АРВ предназначен для реализации десяти вариантов закона управления (табл. X.9).

На рис. X.51 приведены принципиальная схема и диаграммы напряжений регулятора АРВ (блок А). Напряжение со вторичной

обмотки разделительного трансформатора *T6*, пропорциональное напряжению статора, подается через цепочку диодов, резисторов, конденсаторов на ключ *A1*. Отрицательная полуволна этого напряжения проходит через Г-образный фильтр высших гармоник (резисторы *R45*, *R44* и конденсатор *C13*), а положительная полуволна срезается стабилитроном *V19*. Стабилитроны *V21—V26* пропускают в схему только вершину отрицательной полуволны, заряжающей конденсатор *C2*, разряд которого через резисторы *R3* и *R4* определяет форму пилообразного напряжения. На ключ *A1* подается напряжение пилообразной формы, амплитуда которого пропорциональна напряжению статора.

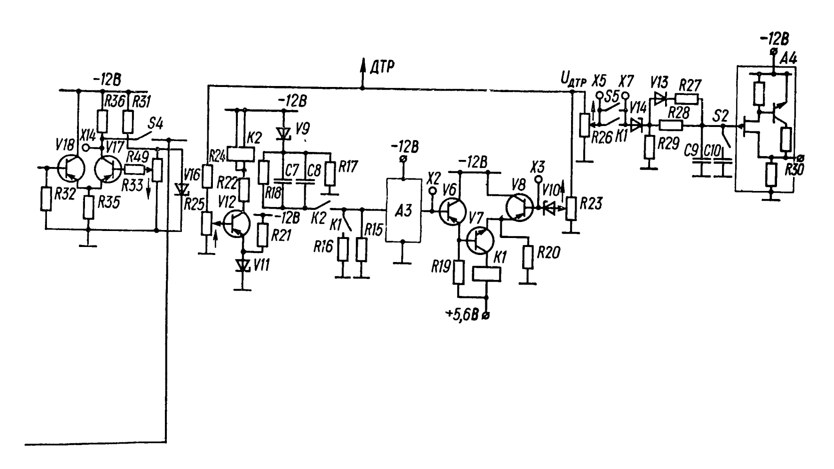


Рис. X.51. Принципиальная схема и диаграммы напряжений автоматического регулятора возбуждения тиристорного возбудителя серии ТЕ8-320.

Стабилитрон *V1* при соответствующей подстройке резистора *R44* обеспечивает в заданном диапазоне постоянство амплитуды пилообразного напряжения, создавая зону нечувствительности в этом диапазоне (например, при изменении напряжения от 100 до 95 % номинального).

Между генератором пилообразного напряжения и ключом *A1* в цепь может быть подключен трансформатор тока, благодаря чему сигнал на запоминающем конденсаторе *C1* будет пропорционален напряжению статора и току нагрузки. При замкнутых клеммах *9*, *10* панели переключения (ключ работает по схеме диода) образуются варианты АРВ-2, АРВ-3. Для реализации вариантов АРВ-4—АРВ-10 используется блокинг-генератор, выполненный на транзисторе (плата 1А-1). Сигналы тока и напряжения для запуска блокинг-генератора подаются через Т-образные фильтры и суммируются на базе транзистора *V4*. Этот транзистор в момент перехода суммарного сигнала на базе от отрицательного к положительному запирается и через конденсатор *C3* запускает блокинг-генератор с транзистором *V3* и трансформатором *T1*. Значения входных сигналов устанавливаются потенциометрами *R7* и *R7** (*R8**).

Усилитель напряжения (транзисторы *V17* и *V18*) суммирует входные сигналы на базе транзистора *V18*. Потенциометрами *R41*, *R49* задается напряжение на коллекторе транзистора *V17*, т. е. рабочая

точка системы регулирования, определяющая значение тока возбуждения. Отрицательное напряжение в гнезде *X14* изменяется от нескольких вольт при открытом транзисторе *V17* до 12 В при закрытом транзисторе. Напряжение на коллекторе транзистора *V17* (гнездо *X14*) задает напряжение управления в импульсном канале, и для обеспечения полного открытия силовых тиристоров в блоке Б включен стабилитрон *V3*, срезающий до нуля остаточное напряжение коллектора полностью открытого транзистора *V17*.

Схема ограничителя тока ротора (ОТР) работает следующим образом. Напряжение на потенциометре *R26*, пропорциональное току ротора, сравнивается с уставкой стабилитрона *V14*, и если это напряжение становится бо́льшим уставки стабилитрона, при замкнутом тумблере *S5* через инерционное звено *R28*, *C9* и микросхему *A4* усилитель запирается, снижая ток возбуждения. Инерционное звено обеспечивает снижение тока возбуждения при перегрузке с выдержкой времени. Выдержку времени можно увеличить, включая тумблером *S2* конденсатор *C10*. Схема ОТР позволяет также обеспечить при перегрузке выдержку времени, зависимую от значения тока ротора Это достигается при разомкнутом тумблере *S5* с помощью реле *K1*. Реле *K1* срабатывает, когда напряжение в контрольном гнезде *X2* положительно по отношению к напряжению в контрольном гнезде *X3*, что имеет место при токе ниже номинального и токе форсировки. Таким образом, реле *K1* отключается в диапазоне токов от номинального до форсировочного. Отключение реле происходит на время, определяемое значением тока перегрузки. Это время определяется зарядом конденсаторов *C7*, *C8* через резистор *R15* при замыкании контактов реле *K2*. Реле *K2* включается транзистором *V12* при токе несколько выше тока уставки на стабилитроне *V14*. Порог открывания транзистора *V12* определяется резистором *R25* и стабилитроном *V11*. Когда реле *K2* отключено, в контрольном гнезде *X2* напряжение близко к нулю. При включении реле *K2* в начальный момент конденсаторы заряжаются, и в контрольном гнезде *X2* устанавливается напряжение, имевшееся на резисторе *R18*. При этом реле *K1* отключается. После заряда конденсаторов *C7*, *C8* в гнезде *X2* опять образуется потенциал, близкий к нулю, что вызывает срабатывание реле *K1* и введение ограничения. Чем больше ток перегрузки, тем больше отрицательное напряжение в контрольном гнезде *X3* и тем раньше вновь включится реле *K1*, и, таким образом, выдержка времени сокращается с ростом тока перегрузки.

Ограничение минимального тока ротора происходит благодаря воздействию подключенной к датчику тока ротора цепи *R50*, *V15*, препятствующей при включенном тумблере *S4* росту отрицательного потенциала в контрольном гнезде *X14* при запирании транзистора *V17*.

Резистором *R43* устанавливается величина стабилизирующей обратной связи по току возбуждения. Конденсаторы *C11*, *C12* обеспечивают усиление действия обратной связи при быстрых изменениях тока ротора, что необходимо при демпфировании колебаний ротора после наброса нагрузки.

Подготовка возбудителя к работе

Перед включением возбудителя после монтажа, ремонта или длительного перерыва в работе подготовка возбудителя к работе производится согласно заводской инструкции в следующем объеме.

1. Проверка отсутствия в шкафу посторонних предметов, надежности затяжки крепежных и контактных соединений, продувка шкафа сухим сжатым воздухом давлением не выше 0,2 МПа.

2. Измерение мегомметром сопротивления изоляции цепей возбудителя, которое должно быть не менее 1 МОм. Измерение производится при вынутых блоках ЭСУ и отключенных от схемы силовых и управляющих электродах тиристоров.

3. Настройка возбудителя. Настройка производится в режиме опробования и ручного регулирования при отключенном статоре двигателя. Для режима опробования предусмотрена кнопка *S10*, контакты которой включены в цепи реле *К2* и *К3*, что дает возможность настройки возбудителя при отключенном от сети двигателе.

Настройку уставок производят в такой последовательности. Переключатель *S5* (см. рис. X.46) устанавливают в положение «Ручное», потенциометр ручного регулирования *R14* — в крайнее левое положение, включают автоматические выключатели *S2*, *S4*, *S6* и нажимают кнопку *S10*.

В режиме аварийного регулирования потенциометром *R13* устанавливают номинальный ток возбуждения и измеряют напряжение в контрольном гнезде *Х4* (блок Б), которое должно составлять 16 ± ±0,5 В. Корректировку этого напряжения производят потенциометром *R13* (блок Г).

В режиме ручного регулирования нажимают кнопку *S10* и, поворачивая движок потенциометра *R14*, проверяют плавное, без скачков увеличение тока ротора от минимального до максимального значения.

Отключают выключатель *S2* и потенциометром *R29* (блок Б) устанавливают максимальное значение тока возбуждения (при форсировке), равное 1,4 номинального значения.

Для подстройки минимального значения тока возбуждения движок потенциометра *R14* устанавливают в крайнее левое положение, движок потенциометра *R15* (блок Г) — в крайнее правое и производят регулировку потенциометром *R32* (блок Б). Потенциометрами *R15*, *R16* (блок Г) расширяют рабочую зону потенциометра *R14* так, чтобы плавное изменение тока возбуждения в заданном диапазоне происходило при полном угле поворота движка потенциометра *R14*.

Для настройки схемы пуска на шкале токового реле *К7* выполняют уставку, равную $(2 \div 2{,}5)\frac{I_{\text{ст. ном}}}{K_{\text{тр}}}$, где $I_{\text{ст. ном}}$ — номинальный ток статора двигателя, $K_{\text{тр}}$ — коэффициент трансформации трансформатора тока *Т10*.

Методика проверки реле тока приведена в гл. XVII.

Для настройки схемы форсировки отключают от клемм выключателя *S2* провода, идущие к трансформатору напряжения и подключают вместо них источник регулируемого переменного напряжения 0—150 В мощностью 50—100 Вт, устанавливают напряжение 100 В и плавно его снижают до момента форсировки. Уставку напряжения форсировки, равную (80 ÷ 85 %) $U_{\text{ном}}$, подстраивают резистором *R14* (блок Б).

Действие защиты от асинхронного хода рекомендуется проверить по заводской инструкции одним из двух способов.

При первом способе в схему подают напряжение 100 В, включают выключатель *S6*, переключатель *S2* устанавливают в первое положение (минимальное время действия защиты), замыкают контакты реле *К9*. Через время, указанное в паспорте возбудителя, срабатывают реле *К6*, *К7* и выходное реле защит *К1*.

При втором способе отключением реле *К5* закорачивают стабилитронную цепочку тиристора *V11* или *V12* блока управления пусковым резистором, переключатель *S2* устанавливают в первое положение,

включают выключатель *S6* и нажимают кнопку *S10*. Через время, указанное в паспорте возбудителя, срабатывают реле *K6*, *K7* и выходное реле защит *K1*.

Настройка схемы порогового ограничения тока ротора сводится к выполнению уставок номинального тока ротора и тока ограничения. Для выполнения уставки номинального тока ротора необходимо повернуть вправо до упора движки потенциометров *R33*, *R30* (блок Б), установить потенциометром ручного регулирования *R14* в режиме ручного регулирования ток возбуждения, равный номинальному значению, нажать кнопку *S1* и поворачивать движок потенциометра *R33* до срабатывания реле *K3* (срабатывание реле *K3* фиксируется по показаниям прибора, подключенного к контрольным гнездам *X5*, *X6*). Для выполнения уставки тока ограничения необходимо отпустить кнопку *S1*, установить потенциометром *R14* в режиме ручного регулирования ток возбуждения, равный 1, 2 номинального значения, нажать кнопку *S1*, повернуть движок потенциометра *R30* до установления тока ограничения возбуждения, равного 1,05 номинального значения.

Выдержка времени схемы ограничения проверяется после настройки значений номинального тока и тока ограничения следующим образом. Потенциометром *R14* в режиме ручного регулирования устанавливают ток возбуждения, равный 0,7—0,8 номинального значения, и по истечении 10 мин включают форсировку возбуждения (замыканием между собой контрольных гнезд *X1*, *X2* (блок Б) или отключением выключателя *S2*). Ток возбуждения при этом возрастает до 1,4 номинального значения. Через 50—60 с после начала форсировки ток скачком уменьшается до 1,05 номинального значения. Если выдержка времени существенно отличается от указанного значения, необходимо уменьшить сопротивление резистора *R11* (блок Б).

Настройку схемы в режиме аварийного регулирования производят при положении переключателя *S5* «Аварийное».

Потенциометрами *R14*, *R17* (блок Г) устанавливают пределы регулирования напряжения возбуждения, необходимые при эксплуатации возбудителя. Регулирование тока возбуждения в режиме аварийного регулирования производится потенциометром *R13*.

Для настройки АРВ необходимо выбрать вариант АРВ. Наиболее распространенным является вариант АРВ-2. В связи с ограниченным применением других вариантов рекомендации по их выбору и особенности их настройки здесь не рассматриваются.

При подключении регулятора к токовым цепям и цепям напряжения следует учитывать потребляемую мощность регулятора, составляющую 30 В · А от трансформатора напряжения и 2,5 В · А от каждого трансформатора тока.

Органы настройки и контроля параметров АРВ, рекомендации по проверке и настройке АРВ приведены в табл. X.10. Она составлена, исходя из значения номинального тока ротора двигателя 320 А. Для соблюдения приведенных параметров и зависимостей при значениях номинального тока ротора, отличных от 320 А, необходимо установить потенциометром *R13* (блок Г) при данном номинальном токе ротора напряжение 16 В (гнездо *X4* блока Б).

Кроме рекомендаций, приведенных в табл. X.10, при настройке АРВ необходимо также учесть следующие рекомендации. Потенциометр *R31* (блок Б) должен быть установлен в положение, при котором обеспечивается инвертирование без срыва при скачкообразном запирании усилителя (изменении напряжения в гнезде *X14* блока А до —12 В).

Потенциометром *R7* (блок А) установить в гнезде *X4* минимальное напряжение, запускающее блокинг-генератор при регулировании по

Таблица X.10. **Рекомендации по проверке и настройке регулятора АРВ тиристорных возбудителей серии ТЕ8-320**

Вид проверки	Рекомендации по проверке
Коэффициент обратной связи — от 8 до 15	При изменении тока ротора в ручном режиме управления от 200 до 250 А напряжение в гнезде *X14* блока А должно измениться не менее чем на 4 В и не более чем на 6 В, а в гнезде *X1* блока Б не менее чем на 0,4 В и не более чем на 0,5 В. Настройка коэффициента обратной связи выполняется потенциометром *R43*
Минимальный ток ротора — от 140 до 170 А	Устанавливается изменением уставки потенциометра *R49*
Ток ротора на холостом ходу двигателя и номинальном напряжении статора от 200 до 210 А	Устанавливается потенциометром *R49* и дополнительно потенциометром *R41*
При изменении напряжения статора от 100 % номинального до 97 % ток ротора изменяется от 200 до 230 А	Зона нечувствительности изменяется потенциометром *R44*
При изменении напряжения статора от 97 до 95 % ток ротора увеличивается не более чем до 280 А	Усиление по напряжению изменяется уменьшением обратной связи потенциометром *R43*
При изменении напряжения статора от 90 до 85 % ток ротора увеличивается не менее чем до 450 А	Для повышения наибольшего значения тока необходимо уменьшить сигнал в гнезде *X11* потенциометром *R51*
При изменении напряжения статора от 95 до 90 % ток ротора увеличивается не менее чем до 400 А	То же
При изменении тока статора от значения тока холостого хода до номинального ток ротора изменяется не менее чем от 200 до 320 А	Устанавливается изменением амплитуды напряжения между клеммами 3,7 платы А-2 от 0 до 4 В (потенциометрами *R7**, *R8**)
Сигнал по напряжению на входе датчиков ДСР и ДУ — от 6 до 8 В	Напряжение измеряется в гнездах *X4* и *X12* и изменяется при необходимости потенциометром *R7*
Сигнал по напряжению, пропорциональный току статора на входе датчика ДУ, — от 3,5 до 4 В	Напряжение измеряется в гнезде *X13* и подстраивается потенциометром *R8*
При изменении угла нагрузки от 0 до 30° ток ротора изменяется от 200 до 450 А	Включить тумблер *S3*
После форсировки до значения тока ротора не менее 400 А ток ротора ограничивается до значений от 320 до 325 А	Ток ротора подстраивается потенциометром *R26*

Вид проверки	Рекомендации по проверке
Ток отпускания реле времени ограничителя тока ротора — от 330 до 335 А	Значение тока подстраивается потенциометром *R25*. При снижении тока ротора в гнезде *X7* скачком устанавливается напряжение, равное напряжению в гнезде *X5*. При испытании конденсаторы *C7*, *C8* должны быть разряжены
Ток подготовки ограничителя тока ротора — от 250 до 260 А	Значение тока подстраивается потенциометром *R23*. При повышении тока ротора в гнезде *X7* скачком устанавливается напряжение, равное напряжению в гнезде *X5*

углу φ, контролируя появление импульсов в гнезде *X8*. Для устранения запирания усилителя напряжения (транзисторы *V17*, *V18*) следует уменьшить сигналы с потенциометров *R43*, *R48*, *R51* (блок А). Перед переключением с ручного на автоматический режим работы возбудителя для предотвращения форсировки возбуждения следует проверить включенное положение тумблера *S4*. При проверке и настройке ограничителя тока ротора после срабатывания реле *K2* конденсаторы *C7*, *C8* (блок А) должны быть разряжены, так как при неразряженных конденсаторах сокращается выдержка времени. При вариантах АРВ-2 и АРВ-3 для отключения блокинг-генератора (плата 1А-1) необходимо установить в гнезде *X4* блока А напряжение, равное нулю.

Если значение усиления не оговорено, оно принимается максимальным. При возникновении качаний из-за нарушения устойчивости работы регулятора следует ввести инерционность для стабилизации работы АРВ.

После настройки возбудителя следует измерить напряжения в контрольных гнездах блоков регулятора для использования этих данных при техническом обслуживании возбудителя.

Глава XI

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ И ИХ ВТОРИЧНЫЕ ЦЕПИ

Объем испытаний

Общие технические требования и методы типовых и контрольных испытаний трансформаторов напряжения (ТН) и трансформаторов тока (ТТ) определены ГОСТ 1983—77 Е и ГОСТ 7746—78 Е.

Объем приемосдаточных испытаний измерительных трансформаторов, согласно ПУЭ, включает в себя следующие работы.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток.
2. Определение тангенса угла диэлектрических изоляций обмоток ТТ.
3. Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты.
4. Измерение тока холостого хода ТН.
5. Снятие характеристик намагничивания сердечников ТТ.
6. Проверку полярности выводов однофазных и группы соединения трехфазных измерительных трансформаторов.
7. Измерение коэффициента трансформации на всех ответвлениях для встроенных ТТ и трансформаторов, имеющих переключающее устройство.
8. Измерение сопротивления постоянному току связующих обмоток каскадных ТН и первичных обмоток ТТ на напряжения 110 кВ и выше, имеющих переключающее устройство.
9. Испытание трансформаторного масла для измерительных трансформаторов напряжением 35 кВ и выше.

Методика измерения сопротивления постоянному току рассмотрена в гл. II. Отклонение измеренного сопротивления обмотки от паспортного значения или от сопротивления обмоток других фаз не должно превышать 2 %. Объем, методы и нормы испытания трансформаторного масла рассмотрены в гл. XIII.

Перед началом испытаний должен быть проведен внешний осмотр измерительного трансформатора. При этом проверяют состояние и целость фарфора и литой изоляции, наличие и уровень масла, отсутствие течи масла, состояние выводов обмоток, отсутствие вмятин на корпусе трансформатора, целость масломерного стекла, затяжку контактных соединений, наличие пломб, надежность заземления выводов обмоток и корпусов трансформаторов и т. п.

В настоящей главе рассмотрены также объем и методы испытаний вторичных цепей измерительных трансформаторов.

Измерение сопротивления изоляции обмоток

Методика измерения сопротивления изоляции приведена в гл. III. Сопротивление изоляции первичных обмоток измерительных трансформаторов измеряют с помощью мегомметра на напряжение 2500 В.

Значение сопротивления изоляции не нормируется, однако «Нормами испытаний электрооборудования» установлено наименьшее допустимое значение сопротивления основной изоляции и изоляции связующих обмоток для трансформаторов напряжения серии НКФ 300 МОм.

Сопротивление изоляции вторичных обмоток измеряют мегомметром на напряжение 500—1000 В. Значение сопротивления изоляции обмоток не нормируется, но вместе с присоединенными к обмоткам цепями должно быть не менее 1 МОм. Сопротивление изоляции каждой обмотки измеряется по отношению к корпусу и остальным соединенным с ним обмоткам. При оценке состояния изоляции вторичных обмоток можно ориентироваться на следующие средние значения сопротивления изоляции исправной обмотки: 10 МОм у встроенных ТТ и 50 МОм у выносных.

У ТТ серии ТФН при наличии вывода от экрана вторичной обмотки измеряется также сопротивление изоляции между экраном и вторичной обмоткой, которое должно быть не менее 1 МОм.

Определение тангенса угла диэлектрических потерь

Методика определения приведена в гл. III.

Значение $\operatorname{tg}\delta$ изоляции ТТ во всех случаях, когда это возможно, определяют по нормальной схеме измерительного моста. Измерение диэлектрических потерь изоляции ТТ типа ТФН проводится по нормальной мостовой схеме с подсоединением к мосту вывода *3* и соединенных с этим выводом закороченных вторичных обмоток. Вторичные цепи при измерениях следует отсоединить, удалить на достаточное расстояние от выводов вторичных обмоток и надежно заземлить.

ПУЭ предусматривает измерение $\operatorname{tg}\delta$ для ТТ напряжением 110 кВ и выше, «Нормы испытания оборудования» предусматривают измерение $\operatorname{tg}\delta$ у ТТ с основной бумажно-бакелитовой и бумажно-масляной изоляцией независимо от номинального напряжения ТТ. Тангенс угла диэлектрических потерь не должен превышать значений, приведенных в табл. XI.1.

Таблица XI.1. **Максимальные значения $\operatorname{tg}\delta$ ТТ, %, при температуре +20 °С**

Объект испытаний	Номинальное напряжение, кВ			
	3—15	20—35	60—110	150—220
Маслонаполненные ТТ с бумажно-масляной изоляцией	—	2,5	2	1,5
ТТ с бумажно-бакелитовой изоляцией	3	2,5	2	—

Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты

Методика испытаний приведена в гл. III.

Значения испытательных напряжений для первичных обмоток приведены в табл. IX.4.

Продолжительность приложения испытательного напряжения для ТН — 1 мин; для ТТ с керамической, жидкой или бумажно-масляной изоляцией — 1 мин; для ТТ с изоляцией из твердых органических материалов или кабельных масс — 5 мин. Согласно ПУЭ, испытание повышенным напряжением обязательно для измерительных трансформаторов напряжением до 35 кВ.

Если один из выводов обмотки высокого напряжения ТН имеет ослабленную изоляцию, испытания изоляции повышенным напряжением не проводятся. Состояние изоляции в этом случае оценивают по результатам измерения сопротивления изоляции. Изоляция вторичных обмоток испытывается совместно с присоединенными вторичными цепями напряжением 1 кВ в течение 1 мин. Изоляцию каждой из обмоток испытывают относительно корпуса и соединенных с ним свободных обмоток. При испытании изоляции вторичных обмоток маслонаполненных ТТ типа ТФН вывод экрана следует соединить с корпусом ТТ.

Измерение тока холостого хода трансформаторов напряжения

Ток холостого хода измеряют при номинальном напряжении, подводимом ко вторичной обмотке ТН (рис. XI.1). Для трансформаторов с несимметричной магнитной системой (трехфазных трехстержневых) ток холостого хода определяют как среднее арифметическое суммы токов холостого хода всех трех фаз, поскольку у этих трансформаторов намагничивающий ток средней фазы меньше токов крайних фаз. Подводимое напряжение определяют как среднее арифметическое трех измеренных линейных напряжений. Значение тока холостого хода не нормируется.

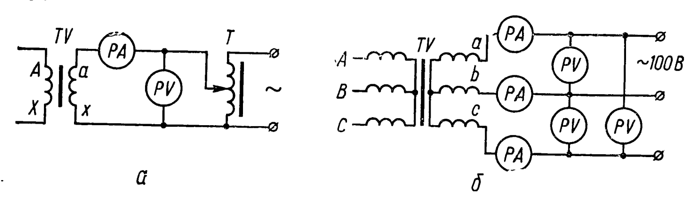


Рис. XI.1. Схемы измерения тока холостого хода ТН:
а — однофазный ТН; *б* — трехфазный ТН.

При измерении необходимо учитывать, что у однофазных ТН, у которых второй вывод первичной обмотки заземляется, номинальное напряжение основной вторичной обмотки составляет $100/\sqrt{3}$ В, а дополнительной — 100 В или 100/3 В. При измерении тока холостого хода следует надежно заземлить корпус, вторичную обмотку, а также первичную обмотку, имеющую вывод с ослабленной изоляцией, присоединяемый к земле.

Для ТН, у которых обмотка высокого напряжения имеет вывод с ослабленной изоляцией, недопустимо включение под напряжение или подъем напряжения ТН без надежного присоединения к земле вывода с ослабленной изоляцией.

При измерении тока холостого хода ТН выше 35 кВ необходимо применять регулирующие устройства большой мощности, так как значение тока холостого хода трансформаторов напряжения типа НКФ-110

достигает 10 А, а НКФ-220—25 А. Измерения следует проводить достаточно быстро, так как вторичные обмотки не рассчитаны на длительное протекание больших токов.

Значение тока холостого хода не нормируется. Согласно ПУЭ, измерение тока холостого хода производится у каскадных ТН 110 кВ и выше.

Снятие характеристик намагничивания трансформаторов тока

Характеристики намагничивания снимают для проверки исправности ТТ. При этом убеждаются в том, что нет замкнутых накоротко витков и повреждений сердечника, оценивают возможности использования его в схеме релейной защиты в конкретных условиях.

Характеристика намагничивания представляет собой зависимость подводимого ко вторичной обмотке напряжения U_2 от тока намагничивания $I_{нам}$, т. е. $U_2 = f(I_{нам})$. Схемы снятия характеристики намагничивания приведены на рис. XI.2. Особое значение имеет способ регулирования напряжения. От него зависит степень искажения формы кривой тока намагничивания и подводимого напряжения. Предпочтение следует отдавать схеме с регулирующим автотрансформатором, при которой форма кривой напряжения близка к синусоидальной.

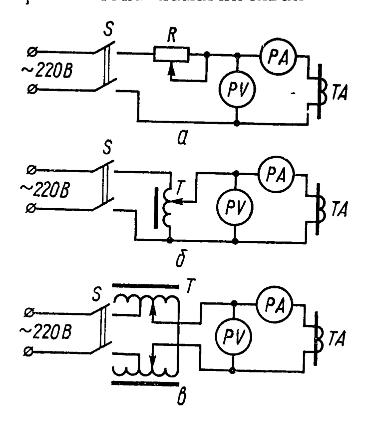


Рис. XI.2. Схемы снятия характеристики намагничивания ТТ:
а — с реостатом; *б* — с автотрансформатором; *в* — с двумя автотрансформаторами.

Для сравнения характеристик однотипных ТТ их следует снимать одинаковыми приборами по одной и той же схеме. Характеристика снимается при разомкнутой первичной обмотке, отсоединенных от вторичной обмотки вторичных цепях и защитном заземлении. При наличии у обмоток ответвлений характеристика снимается на рабочем ответвлении. Снятие характеристики проводится до номинального тока, если для этого не требуется напряжение выше 380 В. Для ТТ, предназначенных для питания устройств релейной защиты, автоматических аварийных осциллографов, фиксирующих приборов и т. п., когда необходима проверка расчетов погрешностей, токов небаланса и допустимой нагрузки применительно к условиям протекания сверхтоков, снятие характеристики проводится выше номинального тока — до начала области насыщения (перегиба характеристики) или до тока намагничивания

$$I_{нам} = \frac{0{,}1 I_{к.\,з.\,макс}}{n_т},$$

где $I_{к.\,з.\,макс}$ — расчетное значение максимального тока короткого замыкания в цепи испытываемого ТТ; $n_т$ — коэффициент трансформации испытываемого ТТ.

Во многих случаях для снятия характеристики намагничивания необходимо напряжение выше 380 В. Схема рис. XI. 2,*в* позволяет получить напряжение до 500 В. При необходимости более высокие напряжения можно получить с помощью повышающих трансформаторов. Повышение напряжения можно получить также методом, основанным на явлении феррорезонанса. Для этого последовательно со вторичной обмоткой ТТ включают один или несколько конденсаторов (рис. XI.3) В зависимости от емкости последовательно включенного конденсатора напряжение на вторичной обмотке ТТ может превысить напряжение сети в 2—8 раз. Если при снятии характеристики требуется подача повышенных напряжений, то при испытании необходимо соблюдение правил техники безопасности, соответствующих этим напряжениям. Напряжение, подводимое ко вторичной обмотке ТТ, не должно превышать 1800 В.

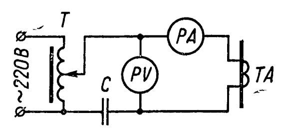


Рис. XI.3. Схема снятия характеристики намагничивания ТТ с использованием явления феррорезонанса.

Исправность ТТ оценивается путем сопоставления снятой характеристики с типовой характеристикой намагничивания для данного типа ТТ или с характеристиками однотипных исправных ТТ. Примеры характеристик намагничивания различных типов ТТ приведены на рис. XI.4. Сплошной линией обозначены характеристики $E_2 = f(I_{нам})$, пунктирной — $U_2 = f(I_{нам})$. Для сравнения снятой характеристики с типовой необходимо снятую характеристику $U_2 = f(I_{нам})$ привести к характеристике $E_2 = f(I_{нам})$ вычитанием из ее ординат U_2 значения падения напряжения во вторичной обмотке $\Delta U = I_{нам} z_2$ (z_2 — сопротивление вторичной обмотки трансформатора тока).

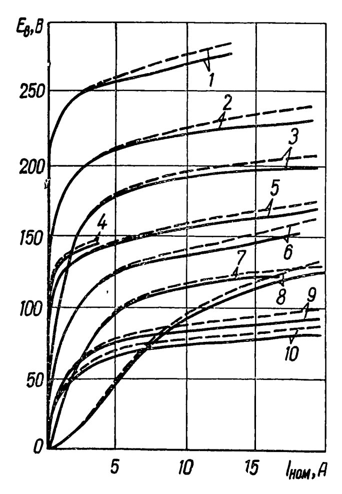


Рис. XI.4. Характеристики намагничивания ТТ разных типов:

1 —ТФНД 110 Д/1/Д, 300—600/5; *2* — ТВД 110, 400/5; *3* — ТПОФ-0,5,600/5; *4* — ТВД 35МКП600/5; *5* — ТВД 35,600/5; *6* — ТПФД, 75/5; *7* — ТВД 200, 200/5; *8* — ТВД 274, 200/5; *9* — ТФ-10, 600/5; *10* — ТМГД-35,200/5.

Пригодность ТТ для работы в простых схемах может быть оценена по снятой характеристике намагничивания сравнением значения напряжения по характеристике со значением напряжения на выводах ТТ, необходимого для срабатывания защиты. Последнее определяется по измеренной нагрузке на ТТ и принятому току срабатывания защиты и не должно превышать значения напряжения по характеристике намагничивания при токе, равном току срабатывания защиты.

В некоторых случаях характеристики намагничивания ТТ можно снимать пропусканием тока через первичную обмотку от нагрузочного трансформатора и измерением напряжения на выводах вторичной обмотки высокоомным вольтметром. Напряжение на вторичной обмотке

при этом не должно превышать допустимого значения, равного $1{,}3z_н n$, где $z_н$ и n — соответственно допустимая нагрузка на вторичную обмотку ТТ и допустимая кратность первичного тока.

Определение полярности выводов и группы соединения обмоток измерительных трансформаторов

Определение полярности выводов или группы соединения обмоток проводится, если отсутствуют паспортные данные или есть сомнения в их достоверности. ГОСТ 1983—77 Е для ТН предусмотрена схема соединений по группе 0. Методика определения группы соединения ТН

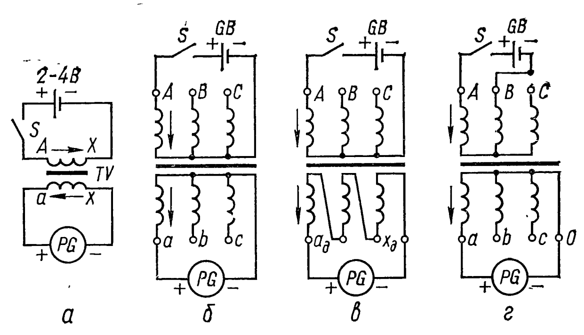


Рис. XI.5. Схемы проверки полярности и правильности обозначения выводов ТН:

а — однофазного; *б*, *в* — пятистержневого трехфазного; *г* — трехфазного двухобмоточного трехстержневого.

аналогична методике определения группы соединения силовых трансформаторов (см. гл. IX). Методика определения полярности обмоток приведена в гл. III. Определение полярности выводов обмоток ТН производится по схемам рис. XI.5. При подключении «+» батареи и «+» прибора к однополярным зажимам обмоток однофазного ТН в момент замыкания цепи батареи стрелка прибора отклоняется вправо.

При проверке полярности соединенных в звезду обмоток пятистержневого трансформатора при подключении «+» батареи и «+» прибора к выводам одноименных фаз в случае правильной полярности стрелка прибора отклоняется вправо (при замыкании цепи). При переключении прибора на другие фазы стрелка отклоняется влево и на меньшее число делений. Таким методом могут быть определены полярности выводов одноименных фаз.

Если обмотки соединены по схеме разомкнутого треугольника, то полярность выводов определяют поочередным подключением «+» батареи ко всем трем выводам первичной обмотки; при правильной полярности стрелка прибора отклоняется вправо.

При проверке полярности обмоток трехфазного ТН, не имеющего выведенной нулевой точки обмотки высокого напряжения, батарею подключают к выводам *A*, *B* первичной обмотки; «+» прибора подключают поочередно к выводам *a*, *b*, *c* вторичной обмотки. При правильной полярности и подключении прибора к выводу *a* стрелка его отклоняет-

ся вправо, при подключении к выводу c — влево, при подключении к выводу b —незначительное отклонение в любую сторону. Такие испытания проводят три раза при подключении батареи к выводам A и B, B и C, C и A, при этом «+» батареи подключают к выводам A, B, C.

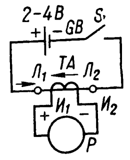


Рис. XI.6. Схема проверки полярности обмоток ТТ.

Полярность обмоток ТТ проверяют по схеме, приведенной на рис. XI.6. При присоединении однополярных зажимов первичной и вторичной обмоток ($Л_1$ и $И_1$ или $Л_2$ и $И_2$) к «+» батареи и к «+» прибора в момент замыкания цепи батареи стрелка прибора должна отклониться вправо.

При проверке полярности встроенных ТТ (до их установки в выключатель или силовой трансформатор) в качестве первичной обмотки используют проводник, продеваемый через сердечник и подключаемый к батарее. К «+» батареи присоединяют конец проводника, который находится со стороны трансформатора тока, имеющей надпись «верх», «+» прибора присоединяют к выводу A вторичной обмотки. При правильной маркировке в момент замыкания цепи батареи стрелка отклонится вправо.

Определение коэффициента трансформации трансформаторов тока

Коэффициент трансформации определяют по схеме, приведенной на рис. XI.7. Коэффициент трансформации испытываемого трансформатора определяется из выражения

$$n_{\text{т}} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{n_{\text{л.т}} I_{\text{из}}}{I_2},$$

где $n_{\text{л.т}}$ — коэффициент трансформации лабораторного ТТ; $I_{\text{из}}$ — ток вторичной обмотки лабораторного ТТ. Отклонение найденного коэффициента трансформации от паспортного не нормируется и должно быть в пределах точности измерения.

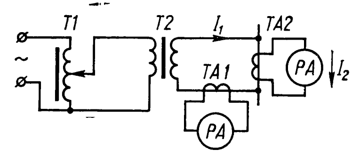


Рис. XI.7. Схема проверки коэффициента трансформации ТТ:

ТА1 — лабораторный ТТ; *ТА2* — испытываемый ТТ.

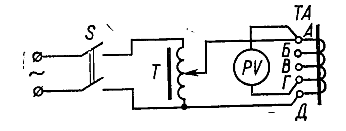


Рис. XI.8. Схема определения отпаек встроенных ТТ,

При проверке коэффициента трансформации в качестве нагрузочного трансформатора можно использовать ТТ соседних фаз.

У встроенных ТТ коэффициент трансформации проверяется на всех ответвлениях. В тех случаях, когда нет маркировки отпаек, перед определением коэффициента трансформации необходимо восстановить маркировку. Наиболее распространенный способ маркировки отпаек — измерение между ними распределения напряжения (рис. XI.8).

Напряжение подается на два любых вывода, и вольтметром определяются выводы, между которыми значение напряжения наибольшее. Максимальное значение напряжения соответствует крайним выводам *А* и *Д*.

Затем проверяют соответствие полярности надписям «верх» и «низ» на сердечнике и определяют вывод *А*. Далее на крайние выводы вновь подается напряжение, и измерением напряжения между выводом *А* и остальными определяют маркировку ответвлений.

При испытании встроенного ТТ с одинаковыми коэффициентами трансформации на крайних ступенях (*А—Б* и *Г—Д*) маркировку крайних выводов можно определить по распределению напряжений между выводами. У ТТ такого типа напряжение на выводах первой ступени меньше, чем на выводах последней ступени (на первой ступени число витков меньше, что обусловлено необходимостью компенсации токовой погрешности при малых первичных токах).

Измерение коэффициента трансформации целесообразно совмещать с проверкой токовых цепей первичным током.

Проверка вторичных цепей трансформаторов напряжения

Помимо испытаний, общих для всех цепей вторичной коммутации, при приемосдаточных испытаниях проводят проверку вторичных цепей ТН в следующем объеме.

1. Определение нагрузки на ТН и потери напряжения во вторичных цепях.

2. Определение тока короткого замыкания во вторичных цепях и проверка автоматов (предохранителей).

3. Проверка исправности заземляющих пробивных предохранителей.

4. Проверка конденсатора, шунтирующего один из полюсов автомата.

5. Проверка рабочим напряжением схем соединения ТН и их вторичных цепей.

6. Проверка фазировки ТН.

Для определения потери напряжения и токов короткого замыкания во вторичных цепях измеряют сопротивления короткого замыкания ТН и проводов вторичных цепей. Нагрузку на ТН измеряют амперметром, включаемым последовательно с измеряемой нагрузкой. Сопротивление проводов и кабелей определяют методами моста или амперметра — вольтметра. Надежность работы автоматов или предохранителей проверяют, включив ТН на перемычку, установленную в наиболее удаленной от ТН точке вторичных цепей. Допускается также расчетная проверка по результатам измерения сопротивления трансформатора и вторичных цепей.

Исправность пробивных предохранителей проверяется мегомметром 500 В или напряжением переменного тока 500—600 В от постороннего источника. Исправность конденсатора, шунтирующего полюс автомата, проверяется напряжением переменного тока 220 В. Если емкость конденсатора не обозначена, ее измеряют. Нормальное значение емкости составляет 12—14 мкФ на каждые 100 В · А мощности трансформатора в используемом классе точности.

Определение сопротивления короткого замыкания трансформаторов напряжения

Сопротивление короткого замыкания измеряют по схемам, приведенным на рис. XI. 9. Напряжение U_1 на первичной обмотке плавно увеличивается до установления во вторичной обмотке значения тока I_2, близкого к номинальному. Сопротивление короткого замыкания однофазного ТН определяется из выражения

$$Z_{к.з} = \frac{U_1}{I_2 n_н},$$

где $n_н$ — коэффициент трансформации ТН.

Сопротивление трехфазного ТН определяется из выражения

$$Z_{к.з} = \frac{U_1}{2 I_2 n_н}.$$

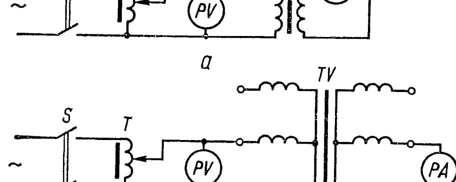


Рис. XI.9. Схемы определения сопротивления короткого замыкания ТН:
а — однофазного; *б* — трехфазного.

Для трехфазного трансформатора $Z_{к.з}$ определяется как среднее значение трех измерений при поочередном замыкании накоротко каждой пары фаз вторичных обмоток при подаче напряжения U_1 на одноименные фазы первичной обмотки.

Проверка рабочим напряжением схем соединения трансформаторов напряжения и их вторичных цепей

На ближайшей к ТН сборке зажимов измеряют все фазные и междуфазные напряжения, а также напряжение небаланса $3U_0$ дополнительной обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник. Если фазные и линейные напряжения симметричны и напряжение небаланса на дополнительной обмотке порядка нескольких вольт, то в схеме нет неправильно включенных (перевернутых по полярности) обмоток ТН.

При симметрии первичных фазных напряжений и нагрузке дополнительных вторичных обмоток, соответствующей классу точности 3, напряжение на зажимах разомкнутого треугольника не должно превышать 3 % номинального напряжения

В некоторых случаях из-за неодинаковой емкости фаз сборных шин (присоединения отключены от шин) замечается повышенное напряжение небаланса (до нескольких десятков вольт).

Схему вторичных цепей проверяют путем измерения фазных, линейных напряжений и напряжения небаланса $3U_0$ на каждом приборе и аппарате, к которому подведены эти напряжения.

Правильность маркировки фаз напряжения может быть проверена фазоуказателем или вольтметром. Если проверка осуществляется вольтметром, сравнивают поочередно напряжения всех фаз на зажимах проверяемой панели с заведомо известными напряжениями того же источника напряжения.

При проверке маркировки фаз фазоуказателем одна из фаз вторичных цепей напряжения должна быть заземлена (обычно в схемах

принято заземление фазы b). Если в схеме заземлена нулевая точка, то на время проверки заземление следует перенести на фазу b.

В протяженных цепях дополнительной обмотки ТН посторонние магнитные поля могут наводить напряжение, соизмеримое с напряжением небаланса. Поэтому последнее измеряют вольтметром с внутренним сопротивлением не более 200 Ом. Вместо вольтметра может быть использован миллиамперметр с добавочным сопротивлением. При измерениях напряжения небаланса $3U_0$ высокоомным вольтметром он может давать показания даже при оборванной цепи.

Правильность маркировки фаз можно просто и безошибочно проверить пофазным отключением обмоток ТН со стороны высокого напряжения (при наличии предохранителей или однофазных разъединителей в первичной цепи трансформатора напряжения). При этом на отключенной фазе вторичное напряжение исчезает или понижается. Можно также отключать пофазно вторичные цепи непосредственно на выводах низкого напряжения трансформатора.

Фазировка трансформаторов напряжения

Методика фазировки трансформаторов напряжения не отличается от методики фазировки силовых трансформаторов, рассмотренной в гл. IX. В цепях разомкнутого треугольника проверяется положение вектора $3U_0$ относительно векторов напряжений основных обмоток. Напряжение $3U_0$ создается искусственно исключением непосредственно на выводах трансформаторов напряжения одной фазы дополнительной обмотки. Проверяют также правильность вывода испытательной жилы, если она есть. Для определения положения вектора $3U_0$ измеряют напряжение на выводах дополнительной обмотки по отношению к земле и напряжениям фаз обмотки, соединенной в звезду. По результатам измерений строят векторную диаграмму напряжений. Для этого строят диаграмму фазных напряжений обмотки, соединенной в звезду. Заземленные точки обмоток, соединенных в звезду и разомкнутый треугольник, совмещают. Из концов векторов фазных напряжений проводят дуги радиусами, равными измеренным напряжениям между выводом дополнительной обмотки и соответствующей фазой обмотки, соединенной в звезду. Точка пересечения трех дуг является концом вектора $3U_0$. Построение векторной диаграммы приведено на рис. XI.10. Шкала вольтметра должна быть рассчитана на двойное линейное напряжение.

Вектор $3U_0$ должен находиться в противофазе к вектору напряжения фазы, исключенной из разомкнутого треугольника. Проще всего направление вектора $3U_0$ определить прибором ВАФ-85.

Для трехфазного ТН $3U_0$ можно создать искусственно путем отключения одной из фаз первичной обмотки с заземлением ее вывода.

Проверка вторичных цепей трансформаторов тока

Помимо испытаний, общих для всех цепей вторичной коммутации, при приемосдаточных испытаниях проводят проверку вторичных цепей ТТ в следующем объеме.

1. Проверка схемы соединения вторичных обмоток и вторичных цепей.

2. Измерение и расчетное определение нагрузки вторичных обмоток.

3. Проверка схемы токовых цепей первичным током нагрузки.

Основной особенностью работы ТТ является независимость значения первичного тока от вторичной нагрузки. Работа ТТ с разомкнутой вторичной обмоткой недопустима: в таком режиме исчезает размагничивающее действие вторичного тока, весь первичный ток становится током намагничивания, что приводит к многократному увеличению магнитного потока в сердечнике трансформатора тока и ЭДС на вторичной обмотке. ЭДС может достигать нескольких киловольт, что представляет опасность для изоляции трансформатора тока и его вторичных цепей, а также для обслуживающего персонала.

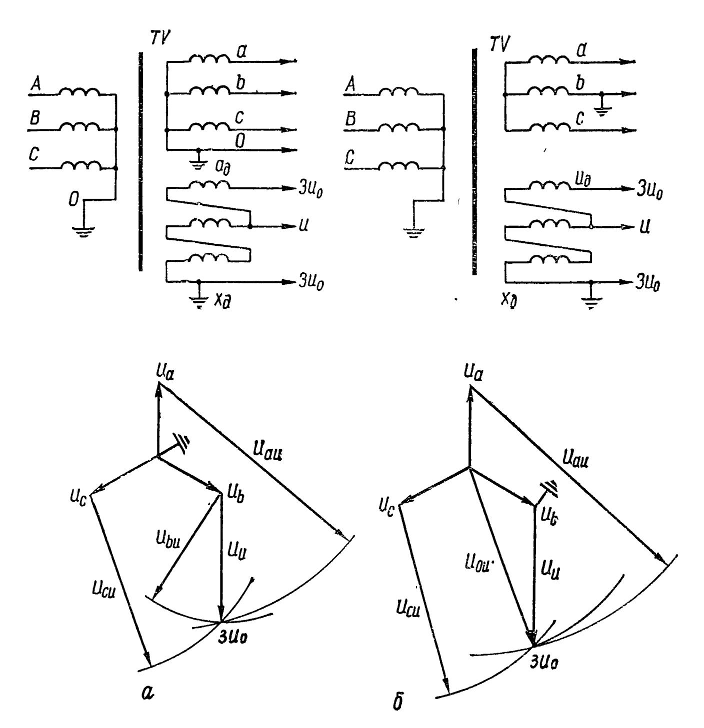


Рис. XI.10. Векторные диаграммы напряжений для цепей $3U_0$ и способы их построения:

а — для заземленного нулевого провода обмотки ТН, соединенной в звезду;
б — для заземленной фазы *b* обмотки ТН, соединенной в звезду.

Резкое возрастание магнитного потока приводит также к недопустимому перегреву сердечника, что может повлечь возгорание изоляции и разрушение ТТ. Для предотвращения повреждений ТТ и для безопасности персонала всякие переключения и другие работы в токовых цепях ТТ, первичные обмотки которых обтекаются током, выполняют без разрыва цепей вторичных обмоток. Все неиспользуемые вторичные обмотки ТТ нужно замкнуть накоротко. Особое внимание следует обращать на надежность контактных соединений в токовых цепях. Вторичная цепь ТТ должна заземляться только в одной точке.

Таблица XI.2. **Проверка схем соединения токовых цепей при питании от постороннего источника тока**

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'}=I_{B'}=I_{C'}=\frac{I_1}{n_т}$; $I_0=3\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема звезды
	$I_{A'}=I_{B'}=I_{C'}=I_0=\frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'}=I_{B'}=I_{C'}=I_0=0$		Оборван нулевой провод
	$I_{A'}=I_{B'}=\frac{I_1}{n_т}$; $I_{C'}=0$; $I_0=2\frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза *C*
	$I=\frac{I_1}{n_т}$		ТТ соединены правильно (последовательно)
	$I=0$		Изменена полярность одного ТТ или оборвана вторичная цепь

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_0 = 2\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема неполной звезды
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_0 = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = 0$		Оборван нулевой провод
	$I_{A'} = I_0 = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{C'} = 0$		Оборвана фаза C
	$I_{A'} = I_{C'} + I_0 = \frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы C
	$I' = I'' = \frac{I_1}{n_т}$; $I = I' + I'' = 2\frac{I_1}{n_т}$		ТТ включены параллельно
	$I' = 0$; $I'' = I = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана цепь I'
	$I' = I'' = \frac{I_1}{n_т}$; $I = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I' = I'' = I = 0$		Оборвана цепь нагрузки

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = 2I_{B'} = 2I_{C'} = 2\frac{I_1}{n_т}$; $I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема треугольника
	$I_{A'} = 0$; $I_{B'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность ТТ фазы *B*
	$I_{A'} = I_{B'} = I_{C'} = 0$		Оборвана фаза *A*
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{B'} = 0$		Оборвана цепь ТТ фазы *B*
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{1}{2}I_{B'}$; $I_{B'} = \frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы *A*
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'C'} = 2\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема на разность токов
	$I_{A'} = I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'C'} = 0$		Изменена полярность одного ТТ
	$I_{A'} = 0$; $I_{C'} = I_{A'C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза *A*

Схема проверки	Результаты измерения вторичных токов	Схема вторичных цепей	Заключение
	$I_{A'} = I_{C'} = I_{A'C'} = 0$		Оборвана цепь нагрузки
	$I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{C'} = I_{A'} + I_{A'C'}$		Закорочен ТТ фазы *A*

Проверка схемы соединения вторичных обмоток и вторичных цепей трансформаторов тока

Такая проверка может быть выполнена при питании схемы от постороннего источника тока. Схемы проверки соединения токовых цепей при питании от постороннего источника тока приведены в табл. XI.2.

Метод проверки заключается в следующем. В зависимости от схемы соединений вторичных обмоток первичные обмотки ТТ соединяются временными перемычками, как указано в табл. XI.2: полностью собирают схемы соединений всех вторичных обмоток, включая установку заземлений во вторичных цепях. От нагрузочного устройства в первичные обмотки подают ток; измеряют значение тока во всех вторичных цепях. По результатам измерений вторичных токов судят о правильности соединений токовых цепей.

Особенность приведенных в табл. XI.2 испытательных схем состоит в том, что при правильном соединении ТТ во всех вторичных цепях, к которым подключены реле или измерительные приборы, при испытании ток не равен нулю; этим одновременно проверяют отсутствие обрывов цепей.

Если необходимо изменить рекомендуемые схемы проверки, новые схемы следует составлять так, чтобы во всех вторичных цепях ток не был равен нулю.

Измерение и расчетное определение нагрузки вторичных обмоток трансформаторов тока

Схемы измерения и расчетные формулы для наиболее часто встречающихся схем соединения приведены в табл. XI.3.

Проверка схемы токовых цепей первичным током нагрузки

Схемы измерения приведены в табл. XI.4.

Для проверки целости нулевого провода в схеме полной звезды при симметричной нагрузке измеряют ток небаланса в нулевом проводе. При очень малых значениях тока небаланса, не поддающихся измерению, для проверки целости нулевого провода исключают из схемы ТТ одну из фаз, искусственно создавая тем самым ток в нулевом проводе.

Таблица XI.3. **Определение сопротивления нагрузки по данным измерения**

Схема	Измеряемые величины	Формула для определения сопротивления
	I; $U_{A'B'}$; $U_{B'C'}$; $U_{C'A'}$	$Z_A = \frac{U_{A'B'} - U_{B'C'} + U_{C'A'}}{2I}$; $Z_B = \frac{U_{B'C'} - U_{C'A'} + U_{A'B'}}{2I}$; $Z_C = \frac{U_{C'A'} - U_{A'B'} + U_{B'C'}}{2I}$
	I; $U_{A'0}$; $U_{B'0}$; $U_{C'0}$	$Z_{A0} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{B0} = \frac{U_{B'0}}{I}$; $Z_{C0} = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$; $U_{C'0}$; $U_{A'0}$	$Z_A = \frac{U_{A'C'} - U_{C'0} + U_{A'0}}{2I}$; $Z_C = \frac{U_{A'C'} - U_{A'0} + U_{C'0}}{2I}$; $Z_0 = \frac{U_{A'0} + U_{C'0} - U_{A'C'}}{2I}$; $Z_{AC} = \frac{U_{A'C'}}{I}$; $Z_{A0} = \frac{U_{A'0}}{I}$; $Z_{C0} = \frac{U_{C'0}}{I}$
	I; $U_{A'C'}$	$Z_{AC} = \frac{U_{A'C'}}{I}$

Таблица XI.4. **Проверка правильности сборки токовых цепей током нагрузки**

Схема проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'}=I_{B'}=I_{C'}=\frac{I_1}{n_\text{т}}$; $I_0=0$		Правильно собрана схема звезды
	$I_{A'}=I_{B'}=I_{C'}=\frac{I_1}{n_\text{т}}$; $I_0=\frac{2I_1}{n_\text{т}}$		Изменена полярность ТТ фазы *А*
	$I_{A'}=0$; $I_{B'}=I_{C'}=I_0=\frac{I_1}{n_\text{т}}$		Оборвана фаза *А*
	$I_{B'}=I_{C'}=\frac{I_1}{n_\text{т}}$; $I_{A'}=I_0=\frac{I_1}{2n_\text{т}}$		Закорочен ТТ фазы *А*
	$I_{A'}=I_{C'}=I_0=\frac{I_1}{n_\text{т}}$		Правильно собрана схема неполной звезды
	$I_{A'}=I_{C'}=\frac{I_1}{n_\text{т}}$; $I_0=\sqrt{3}\,\frac{I_1}{n_\text{т}}$		Изменена полярность ТТ фазы *А*
	$I_{A'}=0$; $I_{C'}=I_0=\frac{I_1}{n_\text{т}}$		Оборвана фаза *А*

Схема проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'} = I_0 = \frac{I_1}{2n_т}$; $I_{C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы *А*
	$I_{A'} = I_{C'} = I_0 = 0$	—	Оборван нулевой провод
	$I_{A'B'} = I_{B'C'} = I_{C'A'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема треугольника
	$I_{B'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$; $I_{A'B'} = I_{C'A'} = \frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность ТТ фазы *А*
	$I_{A'B'} = I_{C'A'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{2n_т}$; $I_{B'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Закорочен ТТ фазы *А*

Схема проверки	Результаты измерений	Векторная диаграмма вторичных токов	Заключение
	$I_{A'B'} = I_{C'A'} = \frac{I_1}{n_т}$; $I_{B'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Оборвана фаза *A*
	$I_{A'C'} = \sqrt{3}\frac{I_1}{n_т}$		Правильно собрана схема на разность токов
	$I_{A'C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Изменена полярность трансформатора тока (фаза *A*)
	$I_{A'C'} \approx 0$	—	Закорочен трансформатор тока
	$I_{A'C'} = \frac{I_1}{n_т}$		Оборвана цепь трансформатора тока (фаза *A*)
	$I_{A'C'} = 0$	—	Оборвана цепь реле

Построение векторных диаграмм

В практике наладочных работ векторные диаграммы строят для того, чтобы убедиться в правильности включения токовых цепей и цепей напряжения релейных защит (дифференциальных, направленных и др.), измерительных приборов (ваттметров, счетчиков, фазометров), регуляторов напряжения и др.

Рис. XI.11. Векторная диаграмма фазных и линейных напряжений и фазных токов.

Как известно, синусоидальные токи и напряжения могут быть представлены в виде векторов, определенным образом ориентированных на плоскости. На рис. XI.11 представлена наиболее часто встречающаяся векторная диаграмма фазных и линейных напряжений и фазных токов трехфазной линии с активно-индуктивной нагрузкой. По векторной диаграмме вторичных напряжений и токов можно окончательно судить о правильности выполнения цепей вторичной коммутации с учетом включения измерительных и промежуточных трансформаторов и других элементов схемы. Для построения векторной диаграммы прежде всего необходимо знать углы между векторами токов и напряжений. Их определяют с помощью однофазного фазометра, вольтамперфазоиндикатора типа ВАФ-85, однофазного ваттметра или другого подобного прибора.

Обязательным условием при снятии векторных диаграмм является синхронность подводимых к прибору токов и напряжений.

При снятии векторных диаграмм направленных защит и приборов необходимо, чтобы было известно направление активной и реактивной мощности в первичных цепях (по заведомо правильно включенным приборам или, при отсутствии таковых, путем создания режимов работы, при которых направление мощностей может быть однозначным).

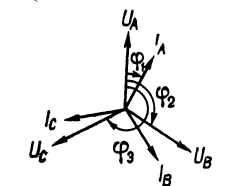


Рис. XI.12. Векторная диаграмма, построенная с помощью фазометра.

Как правило, в качестве опорных векторов используется симметричная трехфазная система векторов напряжений (фазных или линейных) и по отношению к ним определяются углы векторов тока.

Таким образом, на первом этапе снятия векторной диаграммы необходимо проверить напряжения, т. е. измерить значения фазных и линейных напряжений, определить зажимы, к которым подведены напряжения фаз *A*, *B* и *C*, и определить чередование фаз.

Для определения взаимного расположения векторов тока (например, в схемах дифференциальных защит) при снятии векторной диаграммы можно использовать любые напряжения, синхронные с этими токами. Затем векторы напряжений (например, фазных) в произвольном масштабе наносят для удобства построения на миллиметровую бумагу под углом 120° друг к другу (рис. XI.12). После этого определяют углы одним из приведенных ниже методов.

Применение однофазного фазометра

Напряжение фазы *A* подают на обмотку напряжения фазометра так, чтобы фазовый провод был присоединен к зажиму прибора, отме-

ченному звездочкой. Токовую обмотку фазометра включают последовательно с токовой обмоткой прибора или реле, схему включения которого проверяют, так, чтобы провод, подключенный до проверки к началу токовой обмотки фазы A прибора или реле, был присоединен к началу токовой обмотки фазометра.

Для определения симметрии токов по фазам последовательно с токовой обмоткой фазометра включают амперметр. На диаграмме откладывают вектор тока, значение которого пропорционально показаниям амперметра. Угол между векторами тока и напряжения определяется по показаниям фазометра (см. рис. XI.12).

После этого токовые обмотки фазометра и амперметра переключают, с соблюдением того же порядка подключения проводов, последовательно в фазы B и C и строят векторы токов этих фаз; углы во всех случаях отсчитывают от вектора напряжения фазы A.

Вместо напряжения фазы A к обмотке напряжения фазометра можно подвести линейное напряжение AB (фаза A подключается к выводу обмотки, отмеченному звездочкой); в этом случае отсчет углов ведется от вектора напряжения AB.

Аналогично определяют углы между векторами токов и других напряжений, подаваемых на обмотку напряжения фазометра.

Применение однофазного ваттметра

Токовую обмотку ваттметра включают последовательно с обмоткой поверяемого прибора или реле таким образом, чтобы провод, подходящий к началу обмотки прибора, был соединен с концом токовой обмотки ваттметра (начало обмотки ваттметра отмечается звездочкой или знаком «+»).

К ваттметру поочередно подводят все три фазовых напряжения: U_A, U_B и U_C. При этом к началу обмотки напряжения ваттметра подсоединяют фазовые провода, а к концу — нулевой провод.

Показания ваттметра пропорциональны подводимым к нему напряжению и току, а также косинусу угла между ними:

$$W_1 = U_A I \cos(\widehat{U_A I}),$$

$$W_2 = U_B I \cos(\widehat{U_B I}),$$

$$W_3 = U_C I \cos(\widehat{U_C I}),$$

где I — ток, протекающий по токовой обмотке ваттметра; $(\widehat{U_A I})$, $(\widehat{U_B I})$, $(\widehat{U_C I})$ — углы между векторами напряжений U_A, U_B и U_C и вектором тока I; если угол между векторами тока и напряжения лежит в пределах 90—270°, косинус угла и показания ваттметра имеют отрицательные значения.

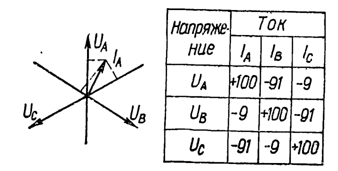
Произведения $I\cos(\widehat{U_A I})$, $I\cos(\widehat{U_B I})$ и $I\cos(\widehat{U_C I})$ представляют собой проекции вектора тока I соответственно на векторы напряжения U_A, U_B и U_C, и, следовательно, показания ваттметра пропорциональны значениям этих проекций.

Если на линиях векторов напряжений U_A, U_B и U_C отложить в выбранном масштабе измеренные мощности W_1, W_2 и W_3 с учетом их знаков и восстановить из концов этих отрезков перпендикуляры, то все они пересекутся в точке, в которой находится конец вектора тока I. Таким образом, по показаниям ваттметра можно определить положение вектора тока на плоскости. Для удобства показания ватт-

метра записывают в таблицу (рис. XI.13). Алгебраическая сумма трех показаний ваттметра должна быть равна нулю (алгебраическая сумма проекций вектора на три оси координат, сдвинутые друг относительно друга на 120°).

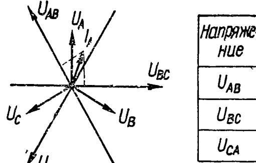
Аналогично определяют положение на плоскости векторов токов двух других фаз после соответствующего поочередного переключения токовой обмотки ваттметра в эти фазы.

При снятии векторных диаграмм обычно используют линейные напряжения (рис. XI.14), которые соответствуют номинальному напряжению обмотки ваттметра.



Напряжение	Ток		
	I_A	I_B	I_C
U_A	+100	-91	-9
U_B	-9	+100	-91
U_C	-91	-9	+100

Рис. XI.13. Векторная диаграмма, построенная с помощью однофазного ваттметра (в качестве «опорных» использованы фазные напряжения).



Напряжение	Ток		
	I_A	I_B	I_C
U_{AB}	+68	-103	+35
U_{BC}	+35	+68	-103
U_{CA}	-103	+35	+68

Рис. XI.14. Векторная диаграмма, построенная с помощью однофазного ваттметра (в качестве «опорных» использованы линейные напряжения).

Применение прибора ВАФ-85

Векторные диаграммы удобно снимать вольтамперфазоиндикатором ВАФ-85. Этим прибором можно определять углы не только между векторами тока и напряжения, но и между двумя векторами напряжения. Краткое описание прибора и методика измерений приведены в гл. II.

Для снятия векторной диаграммы токов или напряжений к зажимам прибора *A*, *B*, *C* подводится трехфазное напряжение 110 или 220 В. Отжимают от лимба тормозящий его рычаг; освобожденный лимб должен вращаться по часовой стрелке. При обратном направлении вращения переключают две фазы напряжений, подведенных к зажимам *A*, *B* и *C* прибора. Лимб тормозится резиновым рычагом. При снятии векторной диаграммы токов клещевая приставка надевается на провод с измеряемым током так, чтобы сторона приставки, отмеченная звездочкой, была обращена к генераторному концу провода с измеряемым током. Вилка приставки вставляется в гнезда прибора с соблюдением обозначенной на них полярности. Левый тумблер должен находиться в положении «*IU*», правый устанавливают в положение «величина», при этом измеряется значение тока. Далее тумблер переключается в положение «фаза». Вращением лимба добиваются нулевого показания прибора. Измеряемый угол определяется по делению лимба, совпавшему с чертой 110 или 220 В (в зависимости от значения напряжения, подведенного к зажимам *A*, *B* и *C* прибора). Угол измерен правильно только в том случае, если направление вращения лимба совпадает с направлением движения стрелки прибора к нулю. Измеренный угол соответствует углу между вектором измеряемого тока и вектором напряжения, подведенного к зажимам *A* и *B* прибора.

При снятии векторной диаграммы напряжений к зажиму прибора, отмеченному звездочкой, присоединяется провод, соответствующий принятому началу вектора напряжения. Порядок снятия диаграммы тот же. Отсчет угла и в этом случае производится по отношению к вектору напряжения, подведенного к зажимам *A*, *B* прибора.

Глава XII

ВЫКЛЮЧАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ПРИВОДЫ К НИМ

Основные технические требования и методы испытаний выключателей переменного тока определены в ГОСТ 687—78 Е.

Объем приемосдаточных испытаний масляных выключателей

Все вновь вводимые в эксплуатацию масляные выключатели должны быть подвергнуты приемосдаточным испытаниям, согласно ПУЭ, в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции подвижных и направляющих частей из органических материалов, вторичных цепей и обмоток включающего и отключающего электромагнитов.
2. Испытание вводов.
3. Оценка состояния внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств (для баковых выключателей 35 кВ).
4. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции выключателя.
5. Измерение сопротивления постоянному току контактов выключателя, шунтирующих резисторов дугогасительных устройств, обмоток включающего и отключающего электромагнитов управления.
6. Измерение скоростных и временных характеристик выключателей.
7. Измерение хода подвижных частей, вжима контактов при включении, одновременности замыкания и размыкания контактов выключателя.
8. Проверка регулировочных и установочных характеристик механизмов приводов и выключателей.
9. Проверка действия механизма свободного расцепления.
10. Проверка напряжения (давления) срабатывания приводов.
11. Испытание выключателя многократными включениями и отключениями.
12. Испытание трансформаторного масла выключателей. У баковых выключателей всех напряжений и малообъемных выключателей напряжением 110 кВ и выше испытание масла производится до и после заливки его в выключатели. У малообъемных выключателей до 35 кВ масло испытывается до заливки (согласно «Нормам испытания электрооборудования» у маломасляных выключателей всех напряжений масло испытывается до заливки, при этом как для баковых, так и для маломасляных выключателей испытание масла производится по пп. 1, 2 табл. XIII.10).
13. Испытание встроенных трансформаторов тока,

Объем, нормы и методы испытаний вводов и трансформаторного масла рассматриваются в гл. XIII, встроенных трансформаторов тока — в гл. XI.

Перед испытаниями проводится внешний осмотр выключателя. При этом проверяют чистоту и целость изоляции, уровень масла, отсутствие течи масла, состояние привода, заземление корпуса и др.

Испытания изоляции масляных выключателей

Измерение сопротивления изоляции

Сопротивление изоляции подвижных и направляющих частей из органических материалов измеряют с помощью мегомметра на напряжение 2500 В.

Методика измерения сопротивления изоляции приведена в гл. III. Значение сопротивления изоляции должно быть не ниже следующих значений:

Номинальное напряжение, кВ	3—10	15—150	220
Сопротивление изоляции, МОм	1000	3000	5000

Первое измерение производится обычно при включенном положении выключателя. Измеряется суммарное сопротивление изоляции вводов, подвижных и направленных частей выключателя. Если измеренные сопротивления изоляции окажутся ниже приведенных значений, проводится второе измерение при отключенном выключателе и соединенных между собой вводах каждой фазы выключателя. Сопротивление изоляции подвижных и направленных частей определяется по результатам двух измерений из выражения

$$R_{из} = \frac{R_{вкл} R_{откл}}{R_{откл} - R_{вкл}},$$

где $R_{вкл}$ и $R_{откл}$ — сопротивления изоляции, измеренные соответственно при включенном и отключенном положениях выключателя.

В тех случаях, когда масло в баки выключателя не залито или есть возможность опустить баки, для измерения сопротивления изоляции присоединяют мегомметр непосредственно к подвижным и направляющим частям.

Измерение угла диэлектрических потерь

Состояние внутрибаковой изоляции и дугогасительных устройств баковых выключателей напряжением 35 кВ оценивают путем измерения $\operatorname{tg} \delta$ вводов после установки их на выключатель При таком измерении на значение $\operatorname{tg} \delta$ влияют элементы внутрибаковой изоляции (дугогасительные устройства, обшивка баков и др.). В соответствии с ПУЭ внутрибаковая изоляция подлежит сушке, если измеренное значение $\operatorname{tg} \delta$ в два раза превышает $\operatorname{tg} \delta$ вводов, измеренный до установки вводов на выключатель.

Согласно «Нормам испытания электрооборудования», оценка состояния внутрибаковой изоляции производится в том случае, если при измерении $\operatorname{tg} \delta$ вводов на полностью собранном выключателе получены значения, превышающие нормы, приведенные в табл. XIII.8. В этих

случаях из измерения должна быть исключена внутрибаковая изоляция (для этого сливают масло, опускают баки, шунтируют дугогасительные камеры). Внутрибаковая изоляция подлежит сушке, если исключение ее влияния снижает tg δ вводов более чем на 4—5 %.

Методика измерения tg δ приведена в гл. III.

Испытание повышенным напряжением

Значения испытательных напряжений промышленной частоты для масляных выключателей принимаются в соответствии с табл. IX.4.

Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин. Испытанию подвергаются выключатели напряжением до 35 кВ включительно. Испытанию подлежит опорная изоляция и изоляция выключателей относительно корпуса. У малообъемных выключателей 6—10 кВ повышенным напряжением испытывается также изоляция контактного разрыва. Схемы приложения испытательных напряжений при испытании масляных выключателей приведены на рис. XII.1. Методика испытания изоляции повышенным напряжением рассмотрена в гл. III.

Испытание изоляции вторичных цепей и обмоток электромагнитов управления выполняется по нормам и методике, изложенным в гл. III.

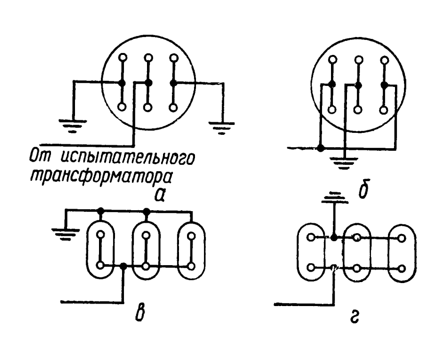


Рис. XII.1. Схемы испытания изоляции масляных выключателей повышенным напряжением промышленной частоты:

а — средней фазы однобакового выключателя; *б* — крайних фаз однобакового выключателя; *в* — каждой из фаз трехбакового выключателя; *г* — контактного разрыва выключателя.

Измерение сопротивления постоянному току

При приемосдаточных испытаниях производится измерение сопротивления токоведущего контура каждого полюса в целом и отдельных его элементов. Измеренные значения сопротивления токоведущего контура и его элементов должны соответствовать заводским нормам (табл. XII.1). При отсутствии нормируемых значений сопротивлений токоведущего контура и его элементов для отдельных типов выключателей допустимые значения сопротивлений устанавливаются на основании сравнения результатов измерений на нескольких образцах аналогичного исполнения. На выключателях серий МГ-10, МГ-20, МГГ для измерения сопротивления дугогасительных контактов между главными контактами выключателя прокладывают изоляционные прокладки (из прессшпана). Измерения сопротивления постоянному току токоведущего контура выключателей выполняют микроомметром, двойным мостом или амперметром и вольтметром. Методика измерения приведена в гл. II.

Таблица XII.1. **Предельные значения сопротивления постоянному току контактов масляных выключателей и шунтирующих резисторов дугогасительных устройств**

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Предельные значения сопротивления контактов, мкОм		Сопротивление шунтирующего резистора дугогасительной камеры, Ом
		Токоведущий контур полюса	Элементы токоведущего контура полюса	
МКП-110М-1000/630/20	600	1200	Полюс без вводов — 890; одна камера — 400; подвижные контакты — 50	750^{+20}
	1000	750	Полюс без вводов — 470; одна камера — 200; подвижные контакты — 50	
МКП-110МП	600	1600—1800	Полюс без вводов —1200; одна камера — 540; подвижные контакты — 80	750^{+20}
	1000	650—800	Полюс без вводов — 500; одна камера — 200; подвижные контакты — 80	
МКП-220-3,5		1200	—	1500
МКП-220-5		1200	—	100 000 ± ± 1500
МКП-220-7		1200	—	100 000 ± ± 1500
У-110-8 и У-110-2000-40		800	Полюс без вводов — 500; одна камера — 200; подвижные контакты — 50	750 ± 20
У-110-2000-50		360	Полюс без вводов — 235; одна камера — 90; подвижные контакты —25	—
У-220-1000/2000-25		560	Полюс без вводов — 440; одна камера — 190; подвижные контакты — 20	—
У-220-2000-40		450	Полюс без вводов —320; одна камера — 150; подвижные контакты —16	—
У-35-2500 и У-35-2000-40		115	По данным заводских инструкций	—
С-35-630-10 и С-35М-630-10		310	То же	—
С-35-3200-50		55	Полюс без вводов —35; одна камера —14; подвижные контакты — 7	—

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Предельные значения сопротивления контактов, мкОм		Сопротивление шунтирующего резистора дугогасительной камеры, Ом
		Токоведущий контур полюса	Элементы токоведущего контура полюса	
ВТ-35-800-12,5 и ВТД 35-800-12,5		550	—	—
ВТ-35-630-10 и ВТД-35-630-10		410	—	—
МГ-10		—	Дугогасительный контур —300	—
МГ-20		—	То же	—
МГГ-10-500	2000	26	Дугогасительный контур — 260	—
	3000	16	То же	—
МГГ-10-750	3000	16	» »	—
	4000	12	» »	—
	5000	9	» »	—
МГГ-10-1000	4000	14	Дугогасительный контур —240	—
	5000	10	То же	—
МГГ-10-223	2000	30	Дугогасительный контур — 250	—
	3000	20	То же	—
МГГ-229		—	» »	—
МГГ-529		—	» »	—
МГГ-20		10	» »	—
МГ-35		250	—	—
МГ-35В		250	—	—
МГ-110		700	—	—
ВМГ-133	600	100	Токосъем — 50; стержень — розетка —50	—
	1000	75	Токосъем — 25; стержень — розетка — 50	—
ВМГ-10	630	75		
	1000	70		
ВМП-10 и ВМП-10У	600	55	Токосъем — 22; стержень — розетка — 33	—
ВМП-10К и ВМП-10КУ	1000	40	Токосъем — 16; стержень — розетка — 24	—
ВМП-10П	1500	30	Токосъем — 10; стержень — розетка — 20	—
ВМ-35 и ВМД-35М		410	—	—
ВБ-35-600 и ВБД-35-600		450	—	—
ВМПП-10-20	630	55	—	—
ВМПП-10-31,5	1000	45	—	—
	1600	32	—	—
ВММ-10		85	—	—
ВЭМ-6		45	—	—
ВС-10-63-2,5 и ВС-10-32-0,8		2200	Полюс без вводов — 600	—

Тип выключателя	Номинальный ток выключателя, А	Предельные значения сопротивления контактов, мкОм		Сопротивление шунтирующего резистора дугогасительной камеры, Ом
		Токоведущий контур полюса	Элементы токоведущего контура полюса	
ВМПЭ-10	630	50	Участок «нижний контактный вывод — стержень подвижного контакта» — 30; участок «верхний контактный вывод — стержень подвижного контакта» — 20	—
	1000	40	Участок «нижний контактный вывод — стержень подвижного контакта» —24; участок «верхний контактный вывод— стержень подвижного контакта» — 16	—
	1500	32	Участок «нижний контактный вывод — стержень подвижного контакта» — 20; участок «верхний контактный вывод — стержень подвижного контакта» — 12	—
	1600	30	Участок «нижний контактный вывод — стержень подвижного контакта» — 20; участок «верхний контактный вывод— стержень подвижного контакта» — 10	—
	3200	10	Участок рабочего и дугогасительного контуров — согласно заводским инструкциям	—

Измерение скорости и времени движения подвижных частей масляных выключателей

Скорость движения подвижных частей выключателей характеризует качество регулировки выключателя и привода. Большая скорость может вызвать чрезмерные ударные механические нагрузки, малая скорость может привести к вибрации и снижению отключающей способности выключателя.

Широко распространен метод измерения скорости включения и отключения выключателя с помощью вибрографа. Виброграф (рис. XII.2) представляет собой электромагнит, состоящий из катушки *1* и сердечника *2* с легким якорем *4*. Якорь укреплен на стальной пружи-

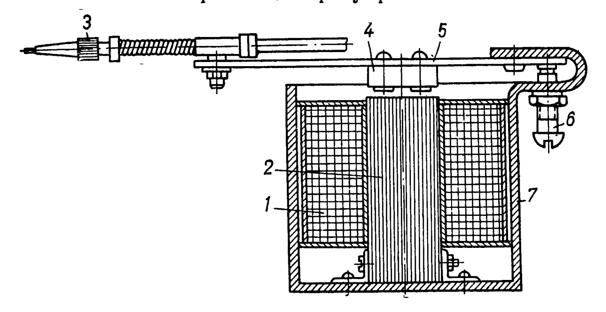


Рис. XII.2. Виброграф.

нящей пластинке *5*, закрепленной одним концом на корпусе вибрографа *7*. На свободном конце пластины укреплена обойма *3* с графитовым стержнем, против которого помещают бумажную ленту, связанную с подвижной частью выключателя. В обойме имеется пружина, обеспе-

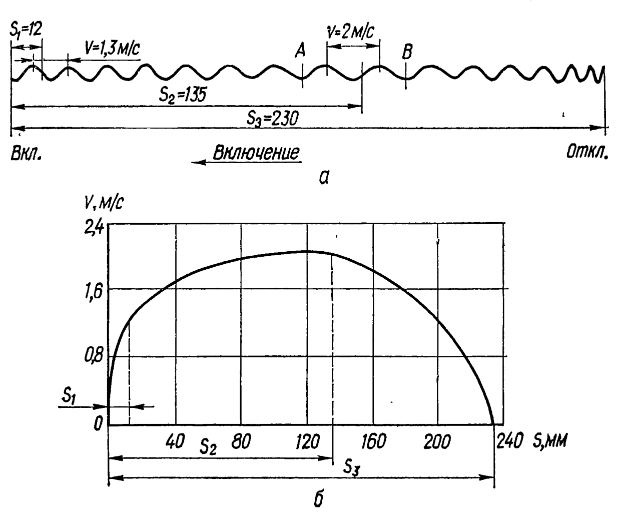


Рис. XII.3. Характеристика скорости включения выключателя:

а — виброграмма; *б* — кривая скорости включения; S_1 — ход в контактах; S_2 — ход в камере; S_3 — полный ход траверсы.

чивающая необходимое прижатие графитового стержня к бумаге. К катушке вибратора подводится ток (для безопасности персонала напряжение рекомендуется 12—36 В) частотой 50 Гц. При каждой полуволне напряжения пластинка с графитовым стержнем притягивается к сердечнику, совершая, таким образом, 100 колебаний за одну секунду.

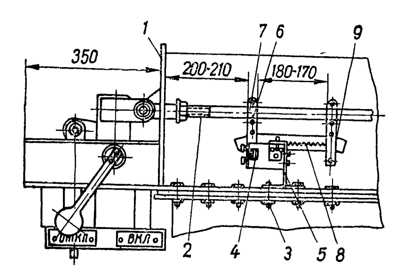


Рис. XII.4. Установка вибрографа на баковом выключателе серии МКП:

1 — торцовая плита; *2* — тяга; *3* — болты коробки механизма; *4* — зажим; *5* — скоба; *6* — винт накладки; *7* — стяжной болт зажима; *8* — лента бумажная с металлической подкладкой; *9* — накладка.

Регулировочным винтом *6* подбирается амплитуда колебаний пластинки, удобная для записи.

К подвижной части выключателя крепится планка с полосками плотной бумаги. Вибратор устанавливается у этой планки таким образом, чтобы его графитовый стержень совершал колебания в плоскости, перпендикулярной движению ленты. При движении бумажной ленты вместе с подвижной частью выключателя графитовый стержень вычертит на ленте синусоидальную кривую с периодами различной длины. По этой виброграмме (рис. XII.3) могут быть определены ход, время и скорость движения подвижных

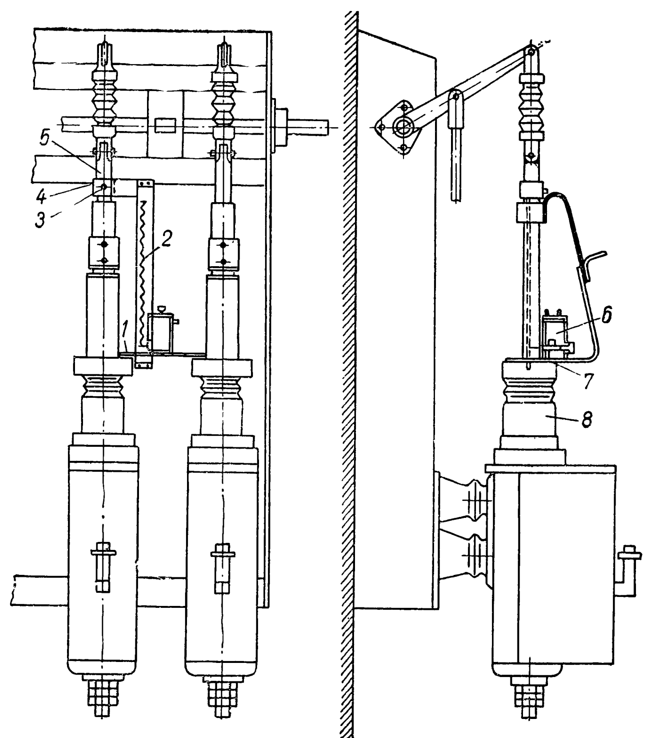


Рис. XII.5. Установка вибрографа на горшковом выключателе:

1 — планка для установки вибрографа; *2* — планка с бумажной лентой; *3* — стопорный винт; *4* — хомут; *5* — изолятор-тяга; *6* — виброграф; *7* — болты для крепления планки *1* к фланцам проходных изоляторов; *8* — проходные изоляторы.

частей выключателя. Ход подвижных частей определяется непосредственным измерением длины виброграммы. Время движения определяется по числу периодов синусоиды. Скорость движения подвижных частей на всем пути различна. Средняя скорость на данном небольшом участке определяется из выражения

$$v = \frac{S}{100t} \text{ [м/с]},$$

где S — длина участка пути, см; t — время движения на этом участке, с.

По виброграмме может быть построена кривая скорости движения подвижных частей выключателя (см. рис. XII.3).

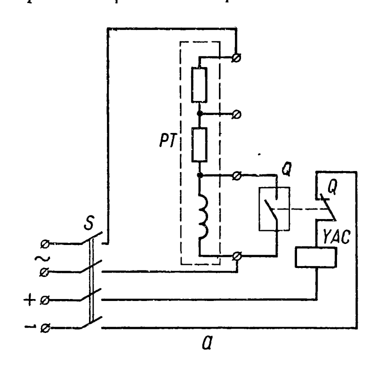
Рекомендуется снимать виброграммы непосредственно на траверсе выключателя, который в это время должен быть залит маслом. Для баковых выключателей виброграмму можно снять на промежуточной подвижной части вне бака выключателя. В этом случае виброграмму предварительно градуируют: на штанге траверсы наносят метки и при медленном включении выключателя делают на виброграмме отметки, соответствующие крайним и нескольким промежуточным положениям траверсы.

Примеры установки вибрографов приведены на рис. XII.4, XII.5.

Помимо описанной конструкции вибрографа имеются также другие конструкции (виброграф конструкции Е. Ф. Дружинина).

Скоростные характеристики выключателей при заполненных маслом баках, температуре окружающей среды от +10 до +20 °С и нормальном значении напряжения на зажимах привода должны соответствовать заводским нормам, приведенным в табл. XII.2.

Для остальных типов выключателей времена и скорости движения подвижных частей устанавливаются в соответствии с инструкциями заводов-изготовителей, если нет заводских протоколов испытания.



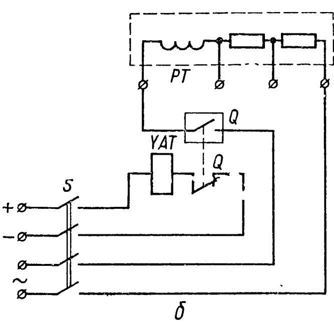


Рис. XII.6. Схемы измерения времени включения (*а*) и отключения (*б*) масляного выключателя:

S — рубильник; *Q* — масляный выключатель; *PT* —секундомер; *YAC*— катушка включения; *YAT*— катушка отключения.

Собственное время включения и отключения выключателя (от подачи импульса до замыкания или размыкания контактов выключателя) измеряется электрическим секундомером по схемам, приведенным на рис. XII.6 при заполненном маслом выключателе.

Измеренные значения должны соответствовать заводским нормам, приведенным в табл. XII.2. Для исключения погрешности вследствие неодновременности подачи импульса на включение (отключение) и для запуска секундомера ножи рубильника должны замыкаться одно-

Таблица XII.2. **Нормы характеристик масляных и электромагнитных**

Тип выключателя	Тип привода	Полный ход подвижных контактов, мм. Ход подвижных контактов после замыкания (вжим), мм. Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм	Операция	Время, с, от подачи импульса до момента размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) контактов	Скорость
					максимальная
МКП-10М-1000/630-20	ШПЭ-33	500_{-20}	О	0,05	3,7 ± 0,4
		7—9		0,05	2,6 ± 0,3
		1 (одной	В	0,6	3,7 ± 0,4
		камеры)		0,6	3,4 ± 0,4
МКП-110МП	ШПЭ-31	510^{+5}_{-10}	О	0,04—0,05	3,7 ± 0,4
		7—10		0,04—0,05	2,7 ± 0,4
		1 (одной	В	0,5—0,6	3,8 ± 0,4
		камеры)		0,5—0,6	3,5 ± 0,4
МКП-110-5П	ШПЭ-37	500 ± 10	О	0,05—0,06	4,4 ± 0,4
		7—10		0,05—0,06	3,3 ± 0,3
		1 (одной	В	0,75—0,85	4,0 ± 0,4
		камеры)		0,75—0,85	3,6 ± 0,4
МКП-110-5П	ШПЭ-44	500 ± 10	О	0,045—0,055	4,5 ± 0,4
		7—10		0,045—0,055	3,2 ± 0,4
		1 (одной	В	0,4—0,5	5,0 ± 0,4
		камеры)		0,4—0,5	4,6 ± 0,4
МКП-220-3,5	ШПЭ-42	800^{+5}_{-10}	О	0,03—0,04	4,5 ± 0,4
МКП-220-5	ШПЭ-42	7—10		0,03—0,04	3,2±0,4
МКП-220-7	ШПЭ-44	1 (одной	В	0,6—0,7	4,6—5,0
		камеры)		0,6—0,7	4,0—4,4
У-110-8	ШПЭ-44	500 ± 10	О	0,06	4,4 ± 0,4
		10 ± 1		0,06	3,5 ± 0,3
У-110-2000-40	ШПЭ-44	1 (одной	В	0,8	3,5 ± 0,4
		камеры)		0,8	3,3 ± 0,4
У-110-2000-50	ШПЭ-46П	485 ± 10	О	0,05	4,3 ± 0,5
		20 ± 1		0,05	3,5 ± 0,4
		1 (одной	В	0,85	3,1 ± 0,3
		камеры)		0,8	2,8 ± 0,3
У-220-1000/2000-25	ШПЭ-44П	800^{+5}_{-15}	О	$0,04^{+0,01}$	4,8 ± 0,4
		8^{+2}_{-1}		$0,04^{+0,01}$	3,4 ± 0,4
		1 (одной	В	$0,7^{+0,1}$	4,6 ± 0,4
		камеры)		$0,7^{+0,1}$	4,2 ± 0,4
У-220-2000-40	ШПЭ-46-1	730 ± 10	О	$0,04^{+0,005}$	5,4 ± 0,5
		20 ± 1		$0,04^{+0,005}$	3,3 ± 0,3
		1 (одной	В	$0,9^{+0,1}$	4,2 ± 0,3
		камеры)		$0,9^{+0,1}$	4,0 ± 0,3

выключателей

движения подвижных частей, м/с					
в момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов	в момент выхода контактов (при отключении) или подхода контактов к камере (при включении)	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) внутренних контактов камеры	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) подвижных контактов с наружными	в момент размыкания дугогасительных контактов или промежуточного с неподвижным контактом (при отключении) или их замыкания (при включении)	Примечание
		1,5 ± 0,2	2,7 ± 0,3		Без масла
		1,5 ± 0,2	2,3 ± 0,3		С маслом
		2,3 ± 0,3	3,7 ± 0,4		Без масла
		2,0 ± 0,3	3,4 ± 0,4		С маслом
		1,5 ± 0,2	2,7 ± 0,3		Без масла
		1,5 ± 0,2	2,3 ± 0,3		С маслом
		2,0 ± 0,3	3,3 ± 0,4		Без масла
		1,8 ± 0,3	3,0 ± 0,4		С маслом
		1,6 ± 0,3	4,0 ± 0,3		Без масла
		1,6 ± 0,3	3,0 ± 0,3		С маслом
		2,1 ± 0,3	4,0 ± 0,4		Без масла
		1,6 ± 0,3	3,6 ± 0,4		С маслом
		1,4 ± 0,2	3,6 ± 0,3		Без масла
		1,4 ± 0,2	2,8 ± 0,3		С маслом
		2,2 ± 0,3	5,0 ± 0,4		Без масла
		1,3 ± 0,3	4,6 ± 0,4		С маслом
		1,5 ± 0,2	3,0 ± 0,3		Без масла
		1,5 ± 0,2	2,8 ± 0,3		С маслом
		3,0—3,3	—		Без масла
		2,4—2,7	—		С маслом
		1,6 ± 0,3	4,0 ± 0,4		Без масла
		1,6 ± 0,3	3,2 ± 0,3		С маслом
		1,8 ± 0,2	3,5 ± 0,4		Без масла
		1,6 ± 0,2	3,3 ± 0,4		С маслом
		2,4 ± 0,2	3,9 ± 0,4		Без масла
		2,3 ± 0,2	3,4 ± 0,4		С маслом
		1,6 ± 0,2	3,1 ± 0,3		Без масла
		1,4 ± 0,2	2,8 ± 0,3		С маслом
		1,6± 0,3	3,6 ± 0,3		Без масла
		1,6 ± 0,3	3,0 ± 0,3		С маслом
		2,5 ± 0,4	4,6 ± 0,4		Без масла
		2,3 ± 0,4	4,2 ± 0,4		С маслом
		2,4 ± 0,2	4,5 ± 0,3		Без масла
		2,2 ± 0,2	3,0 ± 0,3		С маслом
		2,0 ± 0,2	4,0 ± 0,3		Без масла
		1,5 ± 0,2	3,7 ± 0,3		С маслом

Тип выключателя	Тип привода	Полный ход подвижных контактов, мм. Ход подвижных контактов после замыкания (вжим), мм Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм	Операция	Время, с, от подачи импульса до момента размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) контактов	Скорость
					максимальная
С-35-630-10	ШПЭ-11Б	225—237	О	0,07	2,6±0,3
		12 ± 1		0,07	1,6±0,3
		1 (одного полюса)	В	0,3 ± 0,04	3,1±0,3
		4 (трех полюсов)		0,3 ± 0,04	2,7±0,3
С-35М-630-10	ШПЭ-12	225—237	О	0,05	2,0—2,6
		9—11		0,05	—
		1 (одного полюса)	В	0,3 ± 0,04	2,8—3,4
		4 (трех полюсов)		0,3 ± 0,04	—
	ПП-67	230^{+5}_{-10}	О	0,12	2,0—2,6
		10 ± 1		0,12	—
		1 (одного полюса)	В	$\leqslant$ 0,4	1,0—2,0
		4 (трех полюсов)		$\leqslant$ 0,4	—
С-35-3200-50	ШПЭ-38	285 ± 5	О	0,05±0,005	3,5±0,3
		20 ± 1		0,05±0,005	2,2±0,2
		1 (одного полюса)	В	0,6±0,04	3,0±0,3
		4 (трех полюсов)		0,6±0,04	2,7±0,4
У-35-2500	ШПЭ-36	275^{+5}_{-10}	О	0,05	—
У-35-2000-40		10 ± 1		0,05	3,5±0,3
		2 (одного полюса)	В	0,38±0,04	3,2±0,3
		4 (трех полюсов)		0,38±0,04	3,2±0,3
ВТД-35-800-12,5, ВТ-35-800-12,5	ШПЭ-11	230 ± 10	О	$\leqslant$0,06	3,1±0,3
		9^{+4}_{-1}	В	$\leqslant$0,34	2,5±0,3
	ПП-67	2 (одного полюса)	О	0,12	2,6±0,3
		4 (трех полюсов)	В	0,34	2,1±0,3

движения подвижных частей, м/с					
в момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов	в момент выхода контактов (при отключении) или подхода контактов к камере (при включении)	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) внутренних контактов камеры	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) подвижных контактов с наружными	в момент размыкания дугогасительных контактов или промежуточного с неподвижным контактом (при отключении) или их замыкания (при включении)	Примечание
1,2±0,2					Без масла
1,0±0,2					С маслом
3,1±0,3					Без масла
2,7±0,3					С маслом
1,0—1,4					Без масла
—					С маслом
2,8—3,4					Без масла
—					С маслом
1,0—1,4					Без масла
—					С маслом
1,0—2,0					Без масла
—					С маслом
1,8±0,2	2,3±0,3				Без масла
1,7±0,2	2,0±0,2				С маслом
3,0±0,3	0,7±0,2				Без масла
2,7±0,4	0,7±0,2				С маслом
—	—				Без масла
1,8±0,3	3,3±0,3				С маслом
—	1,1±0,2				Без масла
3,2±0,3	1,1±0,2				С маслом
1,1±0,2	3,0±0,3				Без масла
2,2±0,3	1,5±0,3				» »
1,1±0,2	2,5±0,3				» »
1,8±0,3	1,5±0,3				» »

Тип выключателя	Тип привода	Полный ход подвижных контактов, мм. Ход подвижных контактов после замыкания (вжим), мм. Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм	Операция	Время, с, от подачи импульса до момента размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) контактов	Скорость
					максимальная
МГ-10	ПС-31	410—440 90 ± 2 5	О В	⩽ 0,135 ⩽ 0,75	— ⩽ 2,4
МГ-20	ПС-31	475—500 90 ± 2 5	О В	⩽ 0,155 ⩽ 0,8	— ⩽ 2,3
МГГ-10-500	ПЭ-2	290—300 90—95 4	О В	0,12 ± 0,02 0,35 ± 0,02	3,0 ± 0,2 2,4 ± 0,2
МГГ-10-750	ПЭ-21	290—300 90—95 4	О В	⩽ 0,12 ⩽ 0,4	3,4 ± 0,2 2,3 ± 0,2
МГГ-10-1000	ПЭ-21А	290—300 90—95 4	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,4	3,4 ± 0,2 2,8 ± 0,3
МГГ-10-223	ПЭ-30Г	420 ± 25 55 ± 2 5	О В	0,15 ± 20 % 0,55 ± 20 %	1,55 ± 20 % 1,25—1,35
МГГ-229	ПС-30	410—440 55 ± 2 5	О В	0,15 ± 20 % 0,65 ± 20 %	1,9 ± 20 % 1,6
МГГ-529	ПС-31	475—500 (480—520) 55 ± 2 5	О В	0,13 ± 20 % 0,8 ± 20 %	
МГ-35В	ШППМ-35	195—215 10—12 4	О В	0,05—0,06 0,3—0,4	— ⩽ 2,1
МГ-35	ППМ-10	195—215 10—12 4	О В	0,07—0,095 0,2—0,3	
МГ-110	ШПС-30	183—190 15^{+1}_{-2} 3	О В	0,04—0,055 0,3—0,4	
ВМГ-133	ПС-10 ПЭ-11 ППМ-10	245—255 40 ± 5 2	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,23	3,0—3,2 3,2 для ПС-10

движения подвижных частей, м/с					Примечание
в момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов	в момент выхода контактов (при отключении) или подхода контактов к камере (при включении)	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) внутренних контактов камеры	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) подвижных контактов с наружными	в момент размыкания дугогасительных контактов или промежуточного с неподвижным контактом (при отключении) или их замыкания (при включении)	
				$1,8^{+0,3}_{-0,2}$	
				2,2±0,2	
				$1,8^{+0,3}_{-0,2}$	
				$2,0^{+0,3}_{-0,2}$	
				2,0±0,2	
				2,0±0,2	
				2,5±0,2	
				2,3±0,2	
				2,5±0,2	
				2,7±0,3	
				1,45±20 %	
				—	
				1,4±20 %	
				1,6±20 %	
				—	
1,75—2,0					
2,4—3,0 для ПС-10					

Тип выключателя	Тип привода	Полный ход подвижных контактов, мм. Ход подвижных контактов после замыкания (вжим), мм. Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм	Операция	Время, с, от подачи импульса до момента размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) контактов	Скорость
					максимальная
ВМГ-10	ПЭ-11	205—215 40—50 5	О В	⩽ 0,12 0,3	3,3—3,9 2,0—2,6
ВМП-10 ВМ-10К	ПЭ-11	240—245 55—63 5	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,3	⩽ 5 ⩽ 5
ВМП-10П	Встроенный пружинный привод	240—245 55—63 5	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,2	⩽ 5 ⩽ 6
ВМПП-10-20	То же	— 55—63 5	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,2	
ВМПП-10-31,5	» »	— 55—63 5	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,2	
ВММ-10	» »	— 32—38 5	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,2	
ВЭМ-6-2000-38,5-100	ПЭ-21	Ход главных контактов, мм, 4—5	О В	⩽ 0,06 ⩽ 0,3	
ВЭМ-6-2000-40-125 ВЭМ-6-3200-40-125	ПЭ-21 ПЭ-21	Ход ножа в дугогасительных контактах, мм, 30—32	О В О В	⩽ 0,06 ⩽ 0,3 ⩽ 0,06 ⩽ 0,35	
ВС-10-63-2,5	Пружинный	75—81 10—12	О В	0,08—0,1	2,1—2,5 1,3—1,7
ВС-10-32-0,8	»	1 (одного полюса) 2 (трех полюсов)	О В	0,8—0,1	2,7—3,3 1,8—2,2
ВМПЭ-10-630-20 ВМПЭ-10-1000-20 ВМПЭ-10-1600-20	Встроенный электромагнитный	204±3 55±4 5	О В	⩽ 0,09 ⩽ 0,3	4,0±0,5 4,8±0,4

движения подвижных частей, м/с					
в момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов	в момент выхода контактов (при отключении) или подхода контактов к камере (при включении)	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) внутренних контактов камеры	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) подвижных контактов с наружными	в момент размыкания дугогасительных контактов или промежуточного с неподвижным контактом (при отключении) или их замыкания (при включении)	Примечание
2,1—2,7					
2,0—2,6					
3,0—3,8					
4,5±0,5					
3,2—3,8					
≥ 4,5					
≥ 2,5*					Скорость при заведенном приводе на * 1 операцию ** 2 операции *** 3 операции **** 5 операций
≥ 3,5***					
≥ 4,2**					
≥ 2,8*					
≥ 4***					
≥ 4,2**					
≥ 2,3*					
≥ 3,2****					
				3,2—3,7	
				2,8—3,3	
				3,4—4,0	
				4,4—4,7	
				3,4—4,0	
				4,0—4,5	
1,0—1,4					Без масла
1,0—1,4					» »
1,1—1,5					» »
1,2—2,0					» »
3,4±0,4					
4,8±0,4					

Тип выключателя	Тип привода	Полный ход подвижных контактов, мм. Ход подвижных контактов после замыкания (вжим), мм. Разновременность замыкания и размыкания контактов, мм	Операция	Время, с, от подачи импульса до момента размыкания (при отключении) или замыкания (при включении)	Скорость максимальная
ВМПЭ-10-630-31,5 ВМПЭ-10-1000-31,5 ВМПЭ-10-1600-31,5	Встроенный электромагнитный	204±3 55±4 —	О В	⩽ 0,09 ⩽ 0,3	4,0±0,5 5,2±0,5
ВМПЭ-10-630-29 ВМПЭ-10-1000-29 ВМПЭ-10-1600-29	То же	207±3 60^{+3}_{-5} 5	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,3	4,0±0,5 5,2±0,5
ВМПЭ-10-3200-29	» »	290±5 80±3 —	О В	⩽ 0,1 ⩽ 0,3	3,7—4,7 5,5—6,5
ВМПЭ-10-3200-31,5	« »	235±5 80±3 7	О В	⩽ 0,09 ⩽ 0,3	4,5 5,2±0,5

временно. Полное время включения определяется как сумма собственного времени включения и времени движения траверсы от момента замыкания контактов до полной остановки траверсы. Полное время отключения определяется как сумма собственного времени отключения и времени движения траверсы от момента размыкания контактов до полной остановки траверсы. Времена движения траверсы после замыкания контактов при включении и после размыкания контактов при отключении выключателя до ее полной остановки определяются по виброграммам.

В соответствии с ПУЭ измерение скорости включения и отключения следует производить для выключателей напряжением 35 кВ и выше, а также в тех случаях, когда это требуется инструкцией завода-изготовителя. «Нормы испытания электрооборудования» предусматривают эти измерения для выключателей всех классов напряжений.

Измерение хода подвижных частей выключателя, вжима контактов при включении, одновременности замыкания и размыкания контактов. Проверка регулировочных и установочных характеристик механизмов приводов и выключателей. Для измерения хода подвижных частей баковых выключателей измеряется расстояние между подвижными и неподвижными контактами в отключенном положении выключателя, называемое ходом контактной траверсы. Затем вручную выключатель включают до соприкосновения подвижных контактов с неподвижными и на изолирующей штанге делают отметку, соответствующую этому положению. Затем выключатель доводится до включенного положения и на изолирующей штанге делается отметка, соответствующая новому положению траверсы. Расстояние между отметками соответствует ходу подвижных контактов после их замыкания с неподвижными

движения подвижных частей, м/с					Примечание
в момент смыкания (при включении) или размыкания (при отключении) контактов	в момент выхода контактов (при отключении) или подхода контактов к камере (при включении)	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) внутренних контактов камеры	в момент размыкания (при отключении) или замыкания (при включении) подвижных контактов с наружными	в момент размыкания дугогасительных контактов или промежуточного с неподвижным контактом (при отключении) или их замыкания (при включении)	
$3{,}4\pm0{,}4$					
$5{,}2\pm0{,}5$					
$3{,}4\pm0{,}4$					
$5{,}2\pm0{,}5$					
$3{,}2\pm0{,}4$					
4,3					
$3{,}5\pm0{,}4$					
$\geqslant3{,}4$					

(вжиму). Полный ход контактной траверсы представляет сумму измеренных значений.

Для измерения полного хода тяги (траверсы) с помощью метки отмечают положение тяги (траверсы) при включенном положении выключателя. После отключения выключателя наносят вторую метку и измеряют расстояние между метками, соответствующее полному ходу тяги (траверсы). У выключателей типа ВМП-10 эта проверка производится с помощью контрольного стержня, ввораичваемого при снятой верхней крышке полюса по резьбе в торце подвижного контакта. На контрольном стержне отмечают положения подвижного контакта в обоих положениях выключателя и по ним измеряют полный ход тяги.

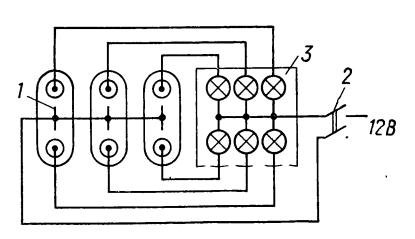


Рис. XII.7. Схема для определения разновременности замыкания контактов масляного выключателя:

1 — подвижной контакт выключателя; *2* — рубильник; *3* — щиток с лампами.

Ход (вжим) подвижных контактов горшковых выключателей после замыкания определяют с помощью схемы, изображенной на рис. XII. 7. Выключатель медленно вручную включается и при загорании лампы делается отметка на тяге (для ВМП-10 — на контрольном стержне), после чего выключатель доводится до включенного положения и вновь делается отметка. Измеренное расстояние между отметками соот-

ветствует вжиму контактов. Измерения производятся для каждой фазы выключателя.

Проверка одновременности замыкания и размыкания контактов выключателя производится с помощью схемы, приведенной на рис. XII.7. Разновременность замыкания и размыкания контактов определяется при медленном ручном включении и отключении выключателя по меткам, наносимым при загорании и погасании ламп, фиксирующих моменты замыкания и размыкания соответствующих контактов выключателя.

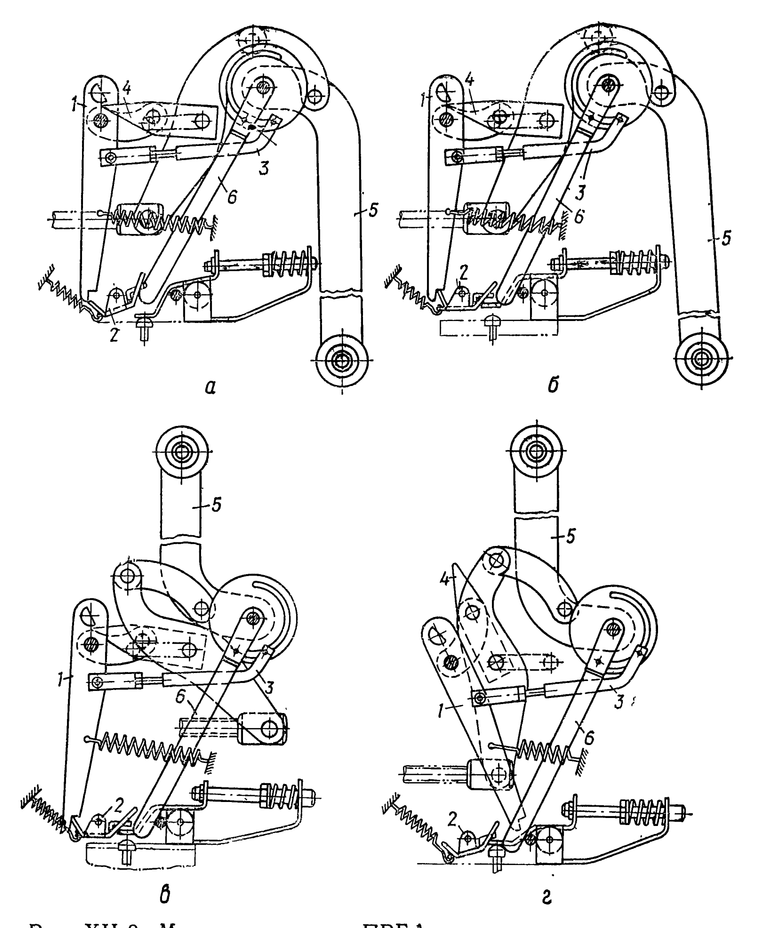


Рис. XII.8. Механизм привода ПРБА:

а — при заводе механизма; *б* — в исходном положении; *в* — во включенном положении; *г* — в положении после автоматического отключения.

Измеренные значения хода подвижных частей, вжима контактов, одновременности замыкания и размыкания контактов должны соответствовать заводским нормам, приведенным в табл. XII.2.

Проверка регулировочных и установочных характеристик механизмов приводов и выключателей производится в объеме и по нормам заводских инструкций и паспортов для каждого типа привода и выключателя.

Проверка и испытания приводов масляных выключателей

Привод проверяют после тщательной ревизии, чистки и механической регулировки.

Сведения по механической регулировке некоторых наиболее распространенных типов приводов приведены ниже. Перед механической регулировкой привода проводится его внешний осмотр, при котором проверяются все доступные болты и гайки, крепления и пружины, поверхности зацепления всех собачек, защелок и каблучков, отсутствие заусениц, трещин и сколов, надежность креплений всех шарнирных соединений, наличие шайб и шплинтов.

Ручные приводы типа ПРБА

При регулировке и проверке привода необходимо соблюдать осторожность, так как при случайных отключениях выключателя возможен несчастный случай. Рекомендуется установить стопорные приспособления между собачкой и корпусом привода.

На рис. XII. 8 показан механизм привода ПРБА в различных положениях. При его регулировке проверяют, происходит ли зацепление рычага *1* за релейную планку *2* при доведении рычага управления привода вниз до упора. Если зацепление не происходит, нужно ввернуть винт с лицевой стороны привода, чтобы увеличить ход рычага управления приводом. Можно отрегулировать зацепление рычага *1* за релейную планку *2* путем изменения длины тяги *3*. Если не происходит зацепление, то тягу *3* следует удлинить. Затем проверяют зацепление собачки *4* за полуось рычага *1* при доведении рычага управления привода вниз до упора. Если зацепление осуществляется раньше, чем рычаг управления дойдет до нижнего упора, то тягу от привода к выключателю следует укоротить.

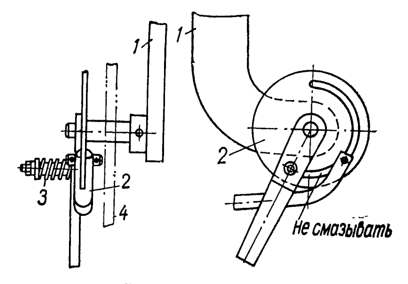


Рис. XII.9. Фрикцион привода ПРБА.

Далее проверяют работу фрикционного сцепления рычага управления *5* привода с рычагом *6*. На рис. XII.9 показана конструкция фрикциона, который должен давать возможность рычагу *1* свободно двигаться снизу вверх при включении выключателя, а при повороте рычага управления привода — сверху вниз. За счет трения в фрикционе рычаг *6* (см. рис. XII.8) должен отклониться и повернуть планку *2* до ее расцепления с рычагом *1*, после чего выключатель отключается.

Выключатель должен отключаться при повороте рычага управления привода сверху вниз на угол не больше 10°, в противном случае следует поджать пружину фрикциона *3*. Если пружина потеряла упругость, то ее заменяют. Необходимо помнить, что детали фрикциона *2* и *4* не должны смазываться, чтобы не уменьшалось трение.

Пружинные приводы

Привод типа ППМ-10. Кинематическая схема и общий вид пружинного привода типа ППМ-10 приведены на рис. XII.10 и XII.11. Привод состоит из следующих основных узлов: механизма взвода и свободного расцепления, имеющего серповидный рычаг *4* с уголком *12* для взвода и удержания рычага в поднятом положении; пружины *16*, которая увеличивает скорость рычага *4* при падении; релейно-отключающей планки *18*, которая с помощью удерживающего механизма *15* с роликом держит механизм на взводе и при срабатывании отключающих электромагнитов и реле освобождает его; механизма включения, который состоит из рычага *11*, свободно вращающегося на валу, защелки *8*, служащей для подхвата и удержания рычага *17* во время включения; валика *7* с устройством *6*, удерживаемым спиральной пружиной, и рычагом *5*, запускающим устройство АПВ; посаженного на выступающую втулку рычага *11* маховика *28* со спиральной пружиной и шестерней взвода; встроенных реле и электромагнитов *2*, *3*, *19*, *20*; устройства вала привода *14*, имеющего удерживающую защелку и рычаги *13* и *17*; заводного устройства (см. рис. XII.11), служащего для подготовки привода к включению (завода спиральной пружины *26*) и состоящего из электродвигателя *29*, редуктора *22*, шестерни *24*, планки *21*, предназначенной для запуска электродвигателя в конце включения выключателя, и отсечки *27*, ролик которой выводит из зацепления ведущую собачку с зубом, когда пружины заведены; аварийных блок-контактов БКА *1*, блок-контактов *32* управления электродвигателем привода и положения пружины привода, блок-контактов КСА положения выключателя.

Включение привода происходит следующим образом. При срабатывании электромагнит включения своим ударником перемещает ролик удерживающей стойки *15* и освобождает рычаг *11*, который связан с пружиной завода и под ее воздействием поворачивается по часовой стрелке. При повороте рычаг *11* своей защелкой *8* захватит рычаг *17*, жестко связанный с валом *14*. В результате рычаг *17* окажется запертым защелкой, и привод будет включен. Одновременно рычаг *11* с помощью сектора и планки поднимает вверх серповидный рычаг *4*, подготавливая возможность отключения выключателя. В конце процесса включения планка *21*, укрепленная на маховике *28*, воздействует на рычаг *23* пуска двигателя *29*. Электродвигатель включается и заводит пружину *26*, подготавливая привод к очередному включению.

Отключение привода происходит посредством отключающей планки *18*, которая поворачивается на опорах под действием ударника отключающего электромагнита. Отключающая планка *18* перемещает удерживающую стойку *15*, в результате чего падает рычаг *4* и ударяет по хвосту защелки, которая поворачивается на своей оси по часовой стрелке и освобождает рычаг *17*. Рычаг *17*, жестко связанный с валом привода, под воздействием отключающих пружин выключателя повернется против часовой стрелки и отключит выключатель.

Механизм привода имеет следующие элементы регулировки:

тяга *1* с резьбой; регулируется так, чтобы при ручном и дистанционном отключении и при отключении от РНВ защелка БКА надежно отходила от диска, давая возможность контактам БКА повернуться;

винт *11* (*7*) предназначен для регулировки механизма включения (рис. XII.12), т. е. глубины западания рычага *1* за ролик удерживающего механизма *3*; глубина эта должна быть около 1 мм; при заводе пружины рычаг *1* должен свободно расходиться с роликом *2*, т. е. складывать механизм; регулировка мертвой точки при необходимости производится винтом *5*. В приводах ППМ-10 последних выпусков (рис. XII.12,*б*) регулировка глубины западания рычага *1* за ролик *2* осуществляется

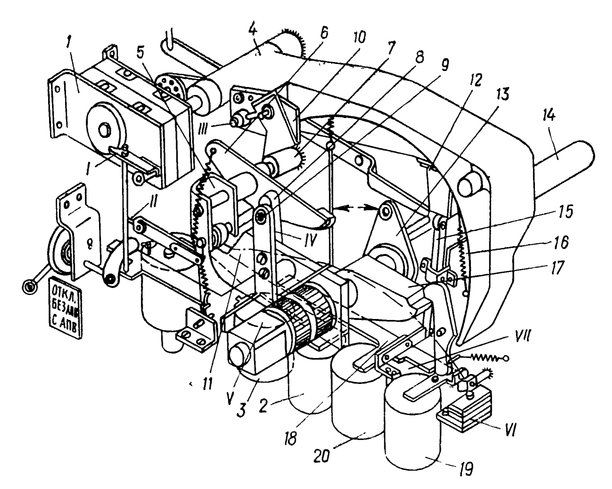


Рис. XII.10. Кинематическая схема пружинного привода типа ППМ-10.

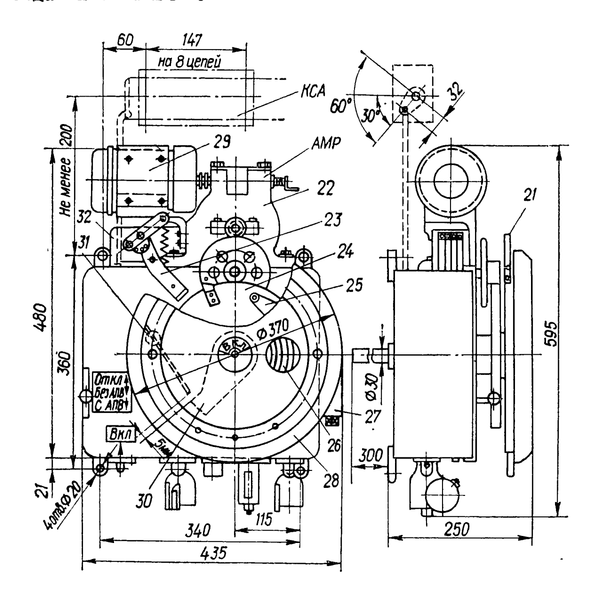


Рис. XII.11. Общий вид пружинного привода типа ППМ-10.

перемещением вилки на тяге *6* (при поднятии ее вверх по тяге зацепление уменьшается, при опускании увеличивается);

винт *III* (см. рис. XII.10); служит для регулировки завода планки *10* серповидного рычага *4* планкой с сектором *9*; планка *10* должна быть отрегулирована так, чтобы при поднятом серповидном рычаге *4*

зазор между планкой *12* и роликом удерживающей стойки был равен 2—4 мм (ударник не должен упираться в верхнюю стенку корпуса); при опущенном серповидном рычаге и заводе пружины планка *10* должна свободно расходиться с сектором *9* рычага *11*;

винт *IV*; служит для регулировки зацепления защелки *8* с рычагом *17* вала при включении выключателя; глубина захвата должна быть 6—7 мм;

винт *V*; предназначен для регулировки механизма завода РНВ;

винт *VI* (см. рис. XII.10); предназначен для регулировки мертвой точки отключающего механизма *15*;

шлицы *VII*; позволяют перемещать подшипник таким образом, чтобы планка *12* при поднятом серповидном рычаге находилась в соответствующем положении, указанном в инструкции. В приводах по-

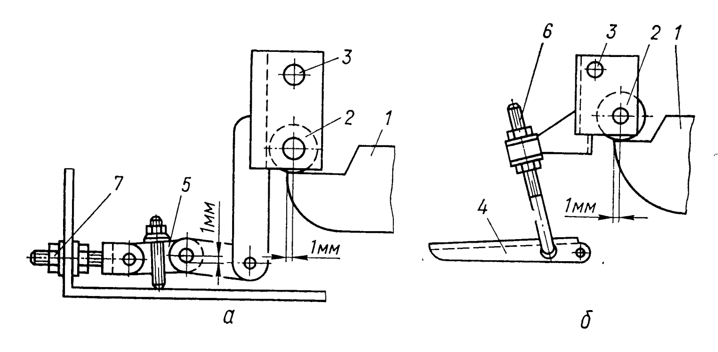


Рис. XII.12. Узел для регулировки механизма включения привода ППМ-10:

а — приводы ранних выпусков; *б* — приводы последних выпусков.

следних выпусков удерживающий механизм состоит из серьги и рычага и поэтому удержания серповидного рычага не требуется; шлицы отсечки *27* (см. рис. XII.11) служат для регулировки расцепления рычага и ролика *25* с рычагом *30*; при срывах отсечка поднимается вверх; при глухом упоре рычага внутри привода опускается вниз; шлицы планки *21* служат для смещения планки при незаведенной пружине, так чтобы планка рычажного механизма находилась в центре ее;

винты-отражатели *31* и винты крепления оси; служат для регулировки размера 5 мм и угла наклона пружинного стержня; регулировка необходима для надежного зацепления ролика *25* с зубом рычага *30*.

Рекомендуется осуществлять опробование привода ППМ-10 в такой последовательности. С помощью стальной штанги, закрепляемой между двумя ввернутыми в штурвал болтами М12, завести пружину вручную (штурвал поворачивается против часовой стрелки) до надежного западания рычага *11* (см. рис. XII.10) за ролик включающего механизма *6*. Включение и отключение привода вручную проверяют четыре-пять раз. Обращают внимание на правильную работу всех узлов привода и отсутствие заеданий, недовключений и других дефектов в работе.

Включают питание оперативного тока и, подавая на электродвигатель кратковременные импульсы, заводят пружину. Это нужно делать медленно, наблюдая за надежностью захвата роликом *25* зуба рычага *30* (см. рис. XII.11), за согласованностью моментов западания

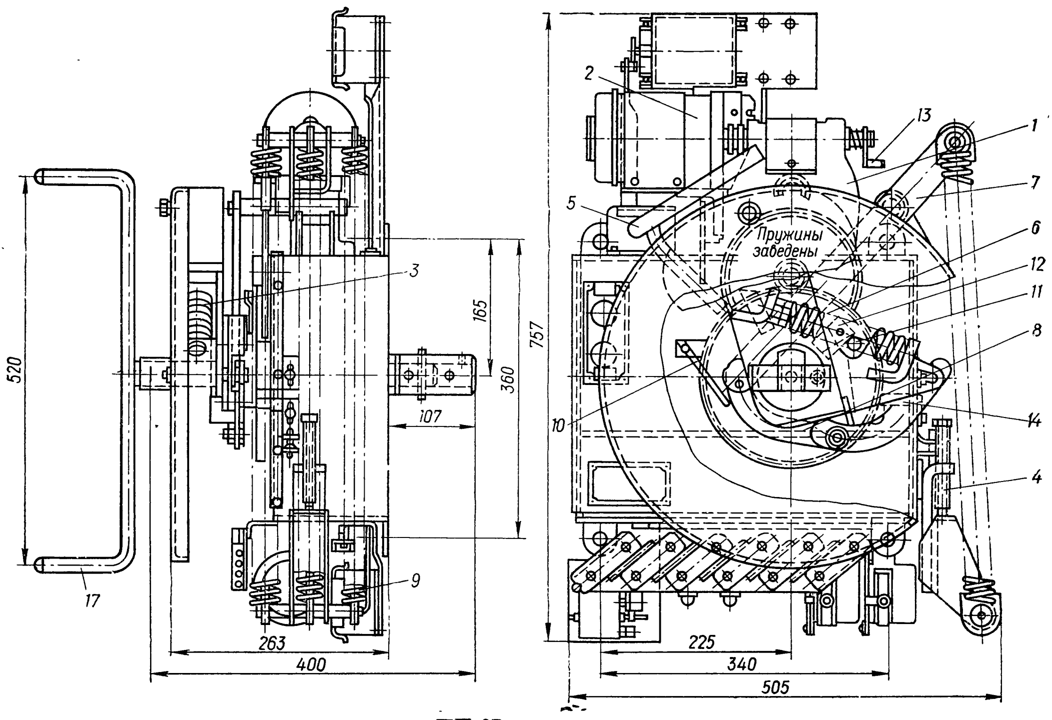


Рис. XII.13. Общий вид привода типа ПП-67.

рычага за ролик механизма *6*, за расцеплением отсечки *27* ролика *25* с зубом рычага *30*, что происходит, когда зазор между рычагом *11* и роликом достигает 1—2 мм, за автоматической остановкой двигателя, который должен остановиться одновременно с расцеплением ролика *25* с зубом *30* от разрыва цепей питания блок-контактами КСА.

Включение и отключение привода повторяют три-четыре раза с одновременным заводом пружины. Обращают внимание на работу электродвигателя *29* завода пружины, который должен включаться планкой *21* в конце процесса включения выключателя.

Для проверки механического АПВ переключатель положения работы привода ставится в положение «Работа с АПВ», заводится пружина, и выключатель отключается от защиты. Устройство АПВ работает следующим образом: рычаг с роликом *13* при отключении привода поворачивается и ударяет роликом по рычагу *5*, который воздействует на удерживающий механизм *6*. Роликом механизма *6* рычаг *11* освобождается и, поворачиваясь под воздействием пружины *26*, захватывает защелкой *8* рычаг *17*, и выключатель включается. Привод ППМ-10 может работать и от электрического устройства АПВ (при этом механическое АПВ необходимо вывести из работы). В последних выпусках приводов ППМ-10 имеется только электрическое мгновенное АПВ.

Привод пружинный типа ПП-67. Привод состоит из следующих основных частей (рис. XII.13 и XII.14):

механизма отключения и свободного расцепления (рис. XII.14), имеющего ударник расцепления *17* с укрепленной на нем планкой *15*, которая удерживает его во взведенном состоянии, и стойкой *14* подъема ударника для взвода ударника расцепления *17*, отключающую планку *23* с отключающими электромагнитами *24*;

механизма включения (см. рис. XII.14), состоящего из рычага *5*, свободно вращающегося на валу с закрепленными на нем роликом *6* для взвода ударника расцепления *17* и защелкой зацепа *7* для захвата рычагом вала *22* при включении;

вала привода *16*, имеющего жесткое крепление с рычагом *22* (см. рис. XII.14);

встроенных реле и электромагнитов *2*, *4*, *24*, *27* (см. рис. XII.14);

траверсы *3* с грузом (см. рис. XII.13), которая надевается на ступицу рычага *5*. С помощью рычагов *7* и *8* траверса соединяется с включающими пружинами *9*;

устройства завода пружин (см. рис. XII.13), состоящего из электродвигателя *2*, редуктора *1*, зубчатых колес *6*, которые роликом *11* захватывают на траверсе привода зуб *12*, и рычага конечного выключателя *5*;

блок-контактов вала привода *13* (см. рис. XII.14), аварийных блок-контактов БКА *1*, блок-контактов положения пружин КГП;

устройства АПВ *25* (см. рис. XII.14) однократного действия с выдержкой времени.

Автоматический завод производится электродвигателем *2* (см. рис. XII.13), который через редуктор *1* вращает зубчатое колесо *6*. Зуб *12* на траверсе привода, захватывая ролик *11* зубчатого колеса *6*, поворачивает траверсу с грузом на 180° и одновременно производится натяжение пружин. Траверса, повернувшись, запирается роликом удерживающего устройства *11* внутри привода (см. рис. XII. 14). Зубчатое колесо *6* (см. рис. XII.13) вращается далее, пока упор *14* не расцепит ролик *11* с зубом *12* и при этом произойдет расцепление зубчатого колеса с траверсой, а электродвигатель *2* посредством специальной планки отключится от конечного выключателя. Завод привода вручную производится заводной рукояткой *13*.

Включение привода происходит следующим образом. При включении электромагнита включения освобождается рычаг *5*, который под воздействием пружин поворачивается по часовой стрелке, захватывая зацепом *7* рычаг *22*, жестко связанный с валом привода, и доводит его до запирания защелкой *19*, что приводит к включению привода. При срабатывании привода на включение рычаг *7* (см. рис. XII.13), вращаясь, воздействует на конечный выключатель, включающий электро-

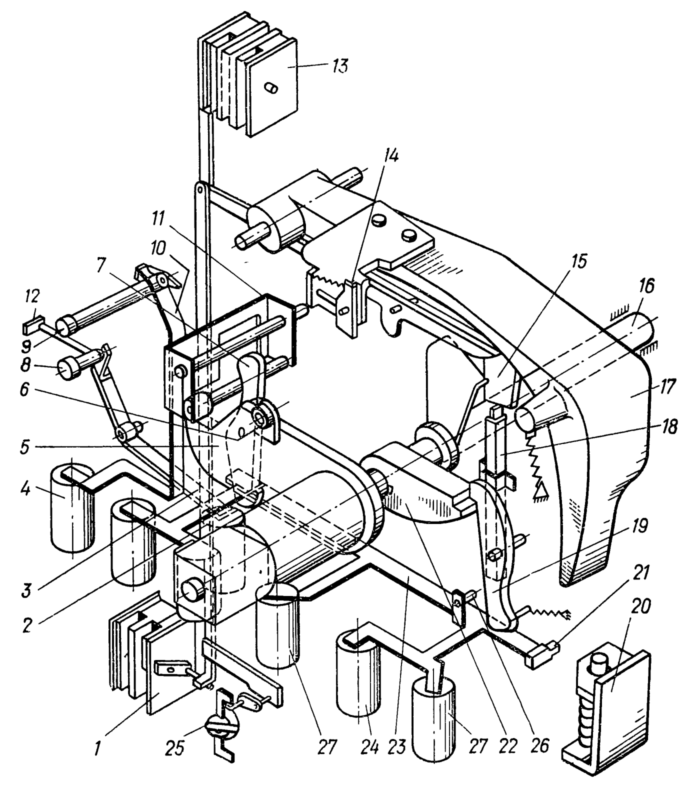


Рис. XII.14. Кинематическая схема привода типа ПП-67.

двигатель *2* завода пружин. Отключение привода происходит посредством отключающей планки *23*, которая поворачивается на опорах *21* под действием отключающих электромагнитов. Отключающая планка перемещает удерживающую стойку *18*, которая освобождает ударник расцепления *17*. Ударник расцепления ударяет по концу защелки *19*, освобождая рычаг *22*, а с ним и вал привода *16*. Под воздействием пружины вал привода поворачивается и отключает выключатель.

В приводе имеется механизм ручного управления, состоящий из кнопок включения *9* и отключения *8*, рычагов включения *10* и отключения *3* и планки *12* для блокировки блок-замком привода в отключенном положении.

Механическая регулировка привода. Регулировку устройства для завода пружин рекомендуется выполнять следующим образом. Вращая

редуктор вручную рукояткой *13* до соприкосновения ролика *11* с зубом *12* (см. рис. XII.13), проверяют отсутствие перекосов и затираний в зубчатой передаче и других механизмах. Если отсутствует надежное сцепление ролика и зуба, необходимо его добиться, регулируя стержень *10* (устанавливая его под большим углом к вертикали). Одновременно необходимо отрегулировать величину зацепления второго конца ролика *11* зацепа с упором *14* механизма расцепления; если зацепление отсутствует, необходимо подрегулировать его винтами упора *14*. Затем продолжают вращать вручную редуктор до полного расцепления ролика *11* с зубом *12*. Расцепление должно происходить в конце хода рычага *5*, при этом зазор между роликом *11* и зубом рычага *5* должен быть не менее 2 мм. Если расцепление ролика *11* с зубом *12* не происходит, необходимо уменьшить зацепление ролика с зубом. Регулировка момента расцепления траверсы *3* с зубчатым колесом *6* производится перемещением вверх или вниз упора *14*, при этом при перемещении вниз расцепление будет происходить раньше. Эта проверка должна выполняться при отключенном выключателе и незаведенной включающей пружине.

При регулировке включающего устройства (см. рис. XII.14) необходимо проверить зацепление защелки зацепа *7* с рычагом вала *22*, причем защелка *7* не должна задевать зуб рычага *22* своей нерабочей поверхностью. Величина зацепления регулируется упорным винтом защелки *7* и должна составлять 5—6 мм. Проверяется также зазор между роликом удерживающей стойки *18* и планкой *15* ударника в момент его наибольшего подъема (медленным поворачиванием рычага *5*); зазор должен быть равен 1—2 мм и регулируется упорным винтом стойки *14*. Далее производят включение выключателя, при котором рычаг вала *22* должен зацепиться за защелку *19*. При этом необходимо, чтобы удерживающая защелка захватывала рычаг вала *22* всей рабочей поверхностью, в противном случае необходимо отрегулировать натяжение пружины или очистить и закруглить поверхности захватываемых зацепов рычага *22* и защелки *19*. Одновременно необходимо проверить работу буфера *20*, который должен вступать в работу после прохождения включающего рычага через включенное положение. При этом между зубом рычага и штоком буфера должен быть зазор 1 мм (если зазора нет, шток буфера укорачивается).

При регулировке отключающего устройства проверяется зацепление между планкой *15* ударника расцепления и роликом стойки *18*. Величина зацепления регулируется следующим образом: сначала вворачивают регулировочный винт *26* до тех пор, пока ударник расцепления *17* перестает удерживаться во взведенном состоянии, затем, ввинчивая винт *26*, через каждые $^1/_4$ оборота опробуют способность ударника удерживаться во взведенном состоянии и, когда его добиваются, выворачивают винт *26* еще на 3—4 оборота и закрепляют его гайкой. Затем опробуют работу отключающего устройства включением и отключением выключателя.

При регулировке отключающего устройства необходимо следить за тем, чтобы ролик удерживающей стойки *18* не касался стенок привода. Если ролик касается стенки, следует установить шайбы на оси ударника расцепления, который сдвинется к передней стенке привода. Необходимо проверить также, не заклинивается ли ударник расцепления удерживающей стойкой (проверку делают на приводе, отсоединенном от выключателя).

Регулировка натяжения включающих пружин осуществляется болтом *4* (см. рис. XII.13). Необходимое количество пружин определяется в соответствии с заводской инструкцией в зависимости от типа выключателя и возможного значения тока короткого замыкания. Обыч-

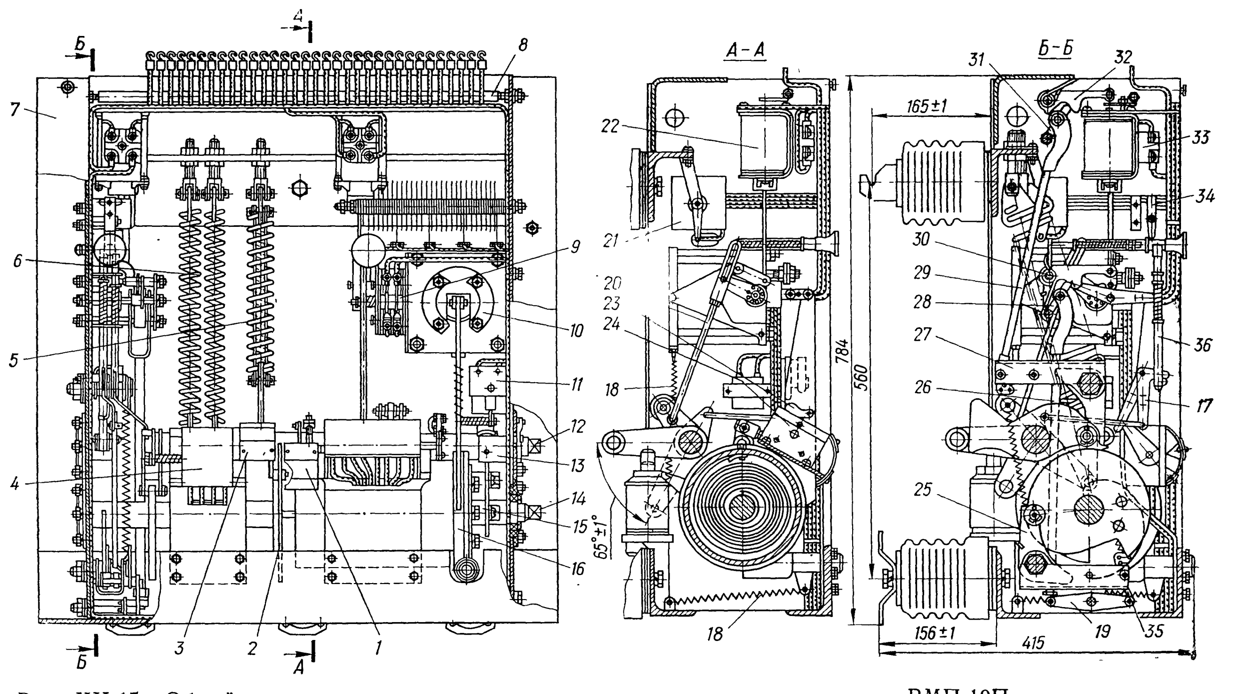


Рис. XII.15. Общий вид встроенного пружинного привода к выключателю типа ВМП-10П.

но привод имеет три пружины с максимальным крутящим моментом 400 Н · м. После окончания регулировки привода необходимо вручную еще раз проверить полный цикл действия всего механизма привода.

Встроенный пружинный привод к выключателям ВМП-10П и др. (рис. XII.15). Привод встроен в раму *7* и состоит из следующих основных частей:

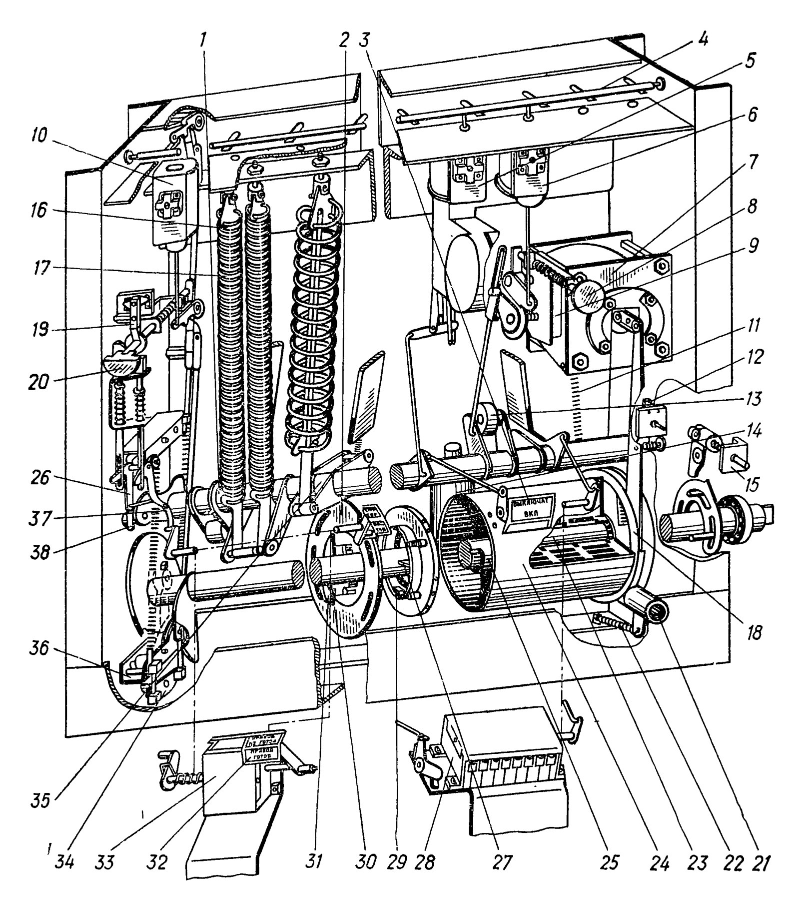


Рис. XII.16. Кинематическая схема пружинного привода выключателя типа ВМП-10П.

механизма включения, состоящего из запорного устройства включения *25*, связанного тягами *26*, *35* с рычагом *19* и защелкой *28*, которая удерживается собачкой *30*;

механизма отключения, состоящего из устройства отключения *27*, связанного тягой *29* с защелкой *31*, которая удерживается собачкой *32*;

заводного устройства, состоящего из электромагнита *10* заводки рабочих пружин, который связан рычагом с обгонной муфтой *16*, пре-

рывателя *11* с кулачком *23*, возвратных пружин *18*, выпрямителя *21*, блокировочного контакта *34*;

релейного блока, состоящего из электромагнитов отключения *22*, включения *33*, релейного вала *8* и реле;

вала *14* привода с барабаном, буферной *5* и отключающей *6* пружинами;

механических блокировок *17*, *36* и электромеханических блокировок, не позволяющих включать привод при включенном выключателе или включать выключатель при неполностью заведенных пружинах привода;

сигнальных блок-контактов КСА *24* с указателем положения выключателя *1*, блок-контактов положения пружин БКП *4* с указателем положения привода *3* и аварийных блок-контактов БКА *9*.

На рис. XII.16 приведена кинематическая схема привода (выключатель включен, привод заведен). Привод работает следующим образом. Включение производится от кнопки *20* или электромагнита включения *10*. При этом срабатывает запорное устройство включения *36* и освобождает вал *23* привода, который под воздействием заведенных пружин *25* поворачивает вал выключателя (с помощью кулачка *34* и рычагов с роликом *1*) и включает выключатель. Запорное устройство отключения *38* срабатывает и удерживает выключатель во включенном положении. В конце процесса включения движение от вала привода передается последовательно через ограничитель *30*, полубарабан *31*, резиновый буфер *29*, упор крышки *27*, барабан *24*, диск *2* на рычаг на валу блок-контактов БКП *33*, которые замыкают цепь электромагнита *7*. Торможение вала привода производится пружинным буфером *15*. Заводка рабочих пружин *25* производится электромагнитом *7* с помощью обгонной муфты *18*, вращающей барабан, к концу которого прикреплены пружины. Для размыкания и замыкания цепи электромагнита в процессе заводки пружин служит прерыватель *12*. Возвратная пружина *11* в момент размыкания цепи прерывателем возвращает обгонную муфту и сердечник электромагнита в исходное положение. Заводка рабочих пружин вручную производится рычагом заводки *21*, при этом возвратная пружина *22* предотвращает проскальзывание обгонной муфты. При заводке рабочих пружин вал привода становится на запорное устройство включения *36*, а блок-контакты БКП разрывают цепь питания электромагнита *7*; механическая блокирова *37*, не допускающая включения выключателя при неполностью заведенных пружинах, разблокируется. Блокировка *26* не позволяет включать привод при включенном выключателе. Отключение выключателя производится от кнопки *8* или от отключающих электромагнитов *6* и реле. При этом запорное устройство *38* освобождает вал выключателя *35*, который под воздействием отключающей пружины *17* и буферной пружины *16* отключает выключатель. Отключенное положение фиксируется упором ролика *13* в масляный буфер *14*.

На рис. XII.16 показаны также реле минимального напряжения *5*, аварийные *9* и сигнальные *28* блок-контакты, блокировочный контакт *19* и указатели положения выключателя *3* и привода *32*.

Механическая регулировка привода производится после установки отключающих пружин и масляного буфера. При регулировке необходимо:

отрегулировать тягой *20* (см. рис. XII.15) зазор, равный 1 мм, между рычагами, связанными с аварийными блок-контактами БКА *9*;

отрегулировать зазор не менее 0,5 мм между роликом *1* (см. рис. XII.16) вала выключателя *35* и кулачком *34* вала привода. При этом выключатель должен быть отключен, а вал *23* должен быть застопорен собачкой запорного устройства включения *36*;

проверить усилие на релейном валу *4* (*8* см. рис. XII.15), которое не должно превышать 5 Н на плече 35 мм; при этом захват собачки *32* на защелку *31* должен быть не менее 2,5 мм;

кулачок *15* установить так, чтобы его рабочая кромка вошла в зацепление с рабочей кромкой собачки пружинного буфера *13* после выхода (на 10—15°) рычага БКП на наружную поверхность диска *2* вала *14* привода;

ролик рычага вала привода при включении не должен садиться на собачку устройства включения *25*. Для этого под пружину буфера *13* при необходимости подкладываются регулировочные шайбы (не более двух);

отрегулировать тягами механизмов *29* и *26* зазор, равный 2,5—4 мм между рабочими кромками защелок *31* и *28* и собачек *32* и *30*. При этом ролики устройств включения *25* и отключения *27* находятся на той части поверхности рычагов вала *14* и *12*, которая имеет наибольший радиус; оси защелок находятся на нижних кромках пазов вилок соответствующих тяг;

отрегулировать винтом прерывателя контакты прерывателя *11* таким образом, чтобы зазор между ними был не менее 8 мм.

При опробовании привода проверку его работы начинают с ручной заводки пружин, продолжая ее до щелчка, происходящего при установке привода в состояние готовности и свидетельствующего об окончании заводки рабочих пружин. Перезаводка рабочих пружин не допускается и ограничивается специальным ограничителем. Затем проверяют состояние и работу устройств включения *25* и отключения *27*, работу конечных выключателей и блокировок, отсутствие механических заеданий и срывов в работе привода.

Встроенный пружинный привод к выключателям ВМПП-10 и ВММ-10. Привод состоит из следующих основных частей (рис. XII.17):

запорных устройств для удержания выключателя в отключенном и включенном положениях, состоящих из собачки *1*, скобы *26*, штока *18*, пружины *32*, тяги *25*, защелки *24*, собачки *11* включающего устройства, собачки *23* отключающего устройства, резинового буфера *3*, предназначенного для смягчения ударов при посадке роликов *31* на собачки *1* в конце операций включения и отключения;

механизма *5* для заводки спиральных пружин, состоящего из электродвигателя и редуктора, на выходном валу которого имеется эксцентрик, связанный через систему рычагов с наружной обоймой обгонной муфты;

вала привода *12* с барабаном, имеющим внутри две спиральные пружины, рычагом с эксцентриком и обгонной муфты, которая имеет две обоймы для ручной и электродвигательной заводки;

релейного вала *4*, реле и электромагнитов *6* и *9*;

вала *2*, блок-контактов БКП *15*, БКА *16*, БКВ *17*, пульта ручного управления *10*, направляющего уголка *21* для блокировочного штока *29*, механической блокировки, счетчика для фиксации количества включений выключателя.

Привод работает следующим образом. При отключении от кнопки, реле или электромагнита отключения поворачивается релейный вал *4*, который тягой *7* поднимает собачку *23* и освобождает защелку *24*. Под воздействием пружины *32* скоба *26* падает и выбивает собачку *1* с удерживающего ролика *31*. Вал привода *12* с рычагом *30* и эксцентриком начинает вращаться под действием спиральных пружин, при этом эксцентрик посредством тяги *28* поворачивает вал *2* выключателя и отключает его; одновременно рычаг *30* приподнимает скобу *26* запорного отключающего устройства, которая через тягу *25* вводит защелку *24* в зацепление с собачкой *23*. Диск *22* дает переключиться контактам

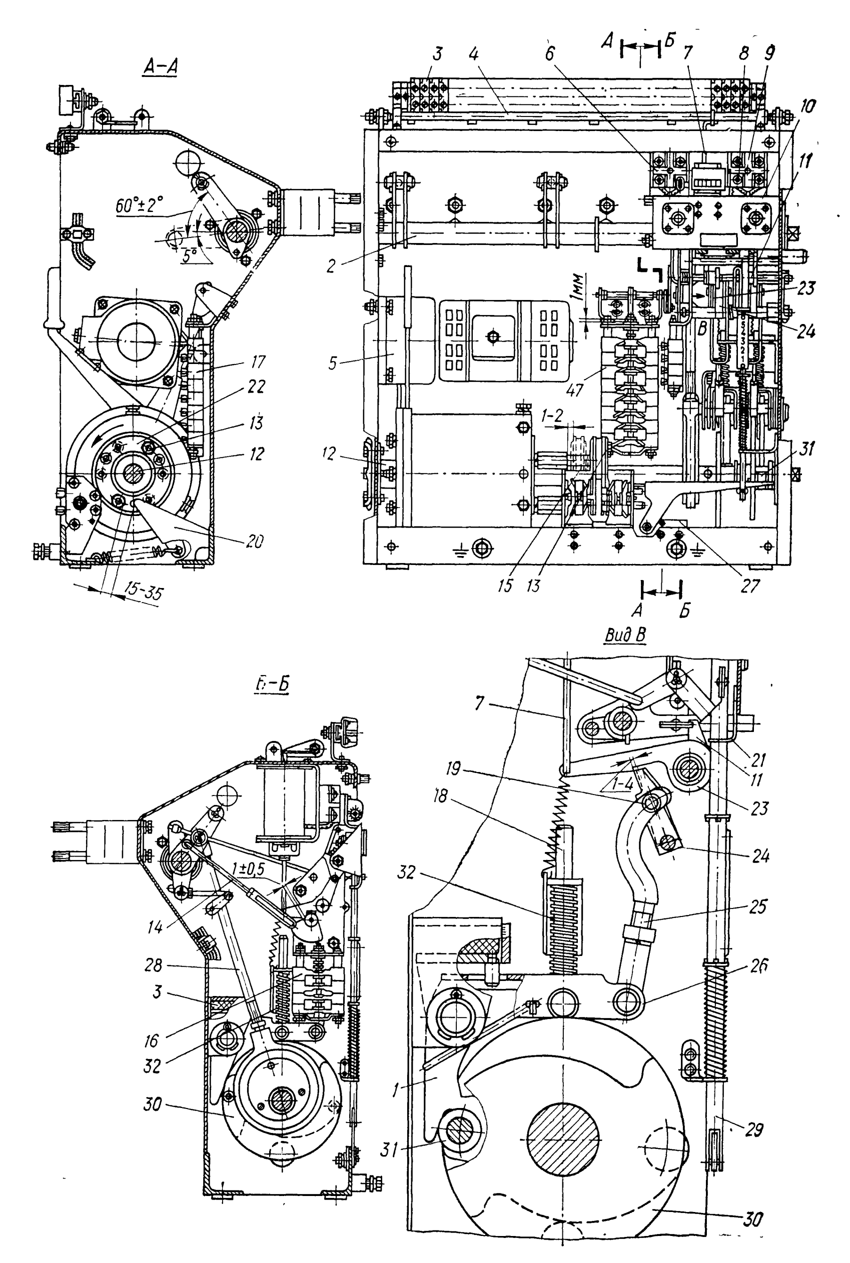


Рис. XII.17. Общий вид встроенного пружинного привода к выключателям типов ВМПП-10 и ВММ-10.

БКП, замыкающим цепь электродвигателя завода спиральных пружин. Электродвигатель через редуктор с помощью эксцентрика и рычагов сообщает наружной обойме обгонной муфты колебательные движения, а наружная обойма через ролики передает вращение барабану и, так как вал привода неподвижен, производится подзавод спиральных рабочих пружин. Диск *22* в конце заводки пружины, смещаясь, переключает блок-контакты БКП, которые останавливают электродвигатель механизма заводки. Включение выключателя происходит под воздействием кнопки *8* или электромагнита *9*; при этом срабатывает запорное устройство (собачка *11* освобождает защелку *24*) и дальнейшая работа привода происходит аналогично рассмотренной выше при отключении выключателя, но с вращением вала в обратном направлении. В приводе имеется механическая и электрическая блокировка завода спиральных пружин более чем на 5 операций.

При механической регулировке привода необходимо:

установить релейный вал *4* так, чтобы он вращался свободно, без затираний, а его планка находилась по центрам штоков реле; при этом усилие на валу не должно превышать 7 Н на плече 35 мм;

отрегулировать тягами *25* защелки *24* так, чтобы зазор между рабочими кромками защелки и собачки был равным 1—4 мм, а ось *19* защелки находилась на нижней кромке паза вилки;

отрегулировать зазор, равный $1 \pm 0,5$ мм на блок-контактах БКА *16* с помощью тяги *14*, а полный захват зуба собачки за зуб кулачка отрегулировать тягой отключающего электромагнита *6*;

отрегулировать зазор блок-контактов *17* так, чтобы после их переключения оставался зазор между втулкой кронштейна и толкателем. Регулировка производится тягой, соединяющей вал выключателя с блок-контактами;

проверить, разрывают ли блок-контакты БКП цепь питания электродвигателя при заводе пружины на рабочий угол 900° (2,5 оборота);

установить винт *13* в диск *22* так, чтобы он после замыкания блок-контактов БКП в конце заводки рабочих пружин находился от упора *20* на расстоянии 15—35 мм и при дальнейшей подзаводке пружин (вручную) своей выступающей частью полностью опирался на упор; второй винт необходимо установить диаметрально противоположно первому;

отрегулировать планкой *27* блокировочный шток *29* так, чтобы при заведенной на две операции пружине кнопка включения разблокировалась.

Опробование привода начинают с заводки рабочих пружин вручную колебательным движением рычага, вставленного в отверстие рычага наружной обоймы обгонной муфты. При этом проверяют действие блокировок, состояние и работу устройств включения и отключения, регулировку привода и работу его отдельных элементов в соответствии с приведенными выше положениями.

Электромагнитные приводы

Привод типа ПЭ-11. Привод (рис. XII.18) состоит из корпуса *10* рычажного механизма, электромагнитов включения *8* и отключения *3* и блок-контактов *6* и *7* (на рисунке положение рычажного механизма привода показано для включенного положения выключателя). Привод работает следующим образом. При отключении удерживающая собачка *5* поворачивается и выводит ролик *2* из равновесия; рычаг *17* под действием пружины поворачивается вокруг упора *4* на некоторый угол и тянет связанный с ним рычаг *14*. При этом ролик *16* соскочит

с торца удерживающей защелки *15* и упадет вниз, потянув систему рычагов *13—12*, и выключатель отключится под действием своих пружин. При включении сердечник *1* втягивается и своим штоком *9* упирается в ролик *16*, поднимая его вверх. При этом система рычагов *14—13—12* приходит в движение и поворачивает вправо связанный жестко с рычагом вал *11*, выключатель включается, удерживающая защелка *15* запирает ролик *16*, обеспечивая устойчивое включение. В конце движения цепь электромагнита включения разрывается, и сердечник падает вниз.

При регулировке рычажного механизма привода ПЭ-11 должны быть выдержаны зазоры, указанные на рис. XII.19. Зазор между отключающей собачкой *1* и роликом *2* должен быть 1—2 мм (регулируется упорным болтом *3*). Ход сердечника 18—20 мм; угол расцепления $\alpha = 15°$; полный угол поворота $\beta = 60°$. Зацепление между запирающей защелкой и упором не нормируется, а между отключающей защелкой и упором оно должно быть в средней части седла отключающей защелки. Ход якоря электромагнита включения должен обеспечивать необходимый зазор 1—1,5 мм между защелкой и упором в процессе зацепления.

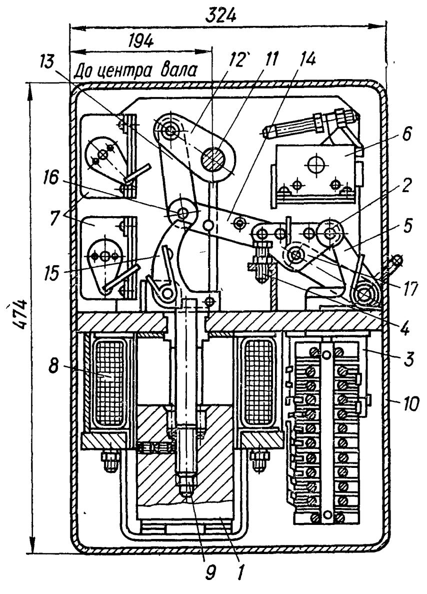


Рис. XII.18. Общий вид электромагнитного привода типа ПЭ-11.

Электромагнитные приводы типов ПЭ-2 и ПЭ-21. Конструкция этих приводов аналогична конструкции привода ПЭ-11 с некоторыми изменениями.

При регулировке рычажной системы приводов ПЭ-2 и ПЭ-21 зазоры между защелками и упорами в процессе зацепления должны составлять 1—2 мм. Эта величина регулируется у отключающих защелок регулировкой упорных винтов, а у запирающих защелок ввертыванием (вывертыванием) бойка якоря электромагнита включения. Зацепление между защелками и упорами должно быть у привода ПЭ-2 по всей длине седла (отключающая защелка) и не менее 1/4 длины седла у приводов ПЭ-2 и ПЭ-21 (запирающая защелка).

Ход якоря электромагнита включения у привода ПЭ-21 должен быть 112 мм, а у привода ПЭ-2 — 85—87 мм. Его регулируют ввертыванием (вывертыванием) бойка электромагнита включения. У электромагнита отключения ход якоря должен позволять после расцепления отключающей защелки движение бойка не менее 2—3 мм. Регулировку осуществляют путем изменения длины бойка якоря.

Электромагнитный привод типа ПС-10М. На рис. XII.20 приведена кинематическая схема привода ПС-10М. Привод работает следующим образом. При замыкании цепи катушки электромагнита включения его якорь подтягивается и штоком *1*, упираясь в ролик *2* (рис. XII.20,*а*), поднимает систему рычагов механизма свободного расцеп-

ления 3, 4, 5 до тех пор, пока ось 6 не сядет на защелку 7; вал привода 8 повернется рычагом 9 на некоторый угол и включит выключатель, который останется во включенном положении, так как удерживается защелкой 7 и серьгами 10 и 11, находящимися в мертвом положении.

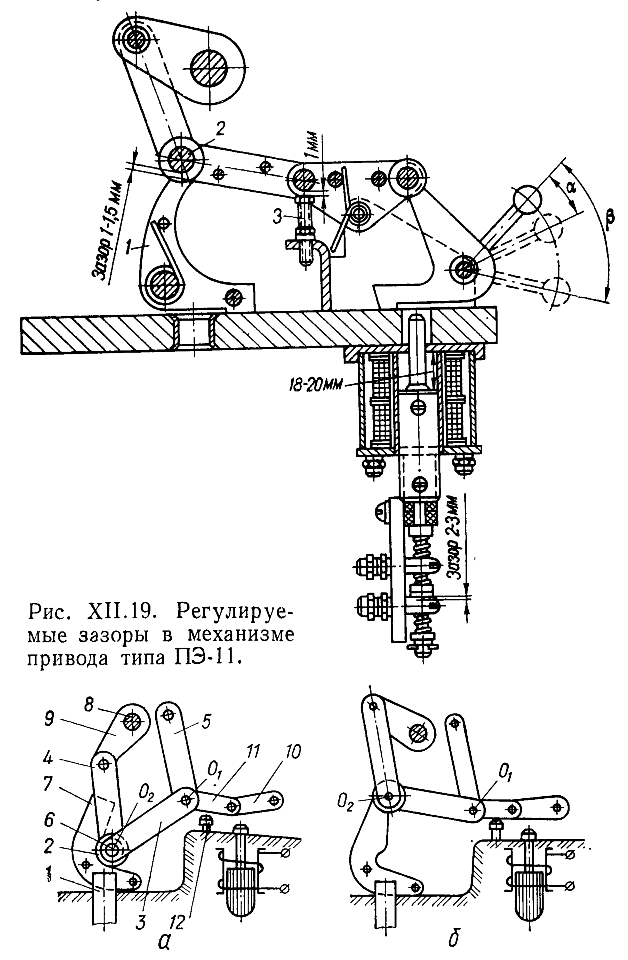


Рис. XII.19. Регулируемые зазоры в механизме привода типа ПЭ-11.

Рис. XII.20. Кинематическая схема привода типа ПС-10М:

а — отключенное положение; *б* — включенное положение.

Упором *12* можно регулировать степень перехода серег *10* и *11* за мертвое положение. В конце включения блок-контакты размыкают цепь катушки электромагнита, и якорь падает вниз. При отключении выключателя шток якоря отключающей катушки выводит серьги *10* и *11* из мертвого положения (рис. XII.20,*б*), ось *6* соскальзывает с защелки *7*, и под действием пружины выключатель отключается.

Механическая регулировка привода производится при медленном включении привода вручную. При этом необходимо, чтобы ось *6* села на защелку *7* и при полном нажатии рычага ручного включения зазор между ними был 1—1,5 мм. Если зазор меньше или ось не садится на защелку, необходимо увеличить длину штока якоря (при этом следует засверлить шток под стопор заново). Проверить, западают ли серьги *10* и *11* за мертвое положение и не соскакивает ли со штока якоря ролик *2*. Регулировка западания серег *10* и *11* за мертвое положение производится ввертыванием винта упора *12* на 1—2 оборота; затем необходимо проверить работу привода при отключении его вручную.

Привод ПС-31 по конструкции аналогичен приводу ПС-10М, за исключением кинематики включения и отключения.

Встроенный электромагнитный привод. Применяется в масляных выключателях ВМПЭ-10. На рис. XII.21 изображен механизм привода во включенном (*а*) и отключенном (*б*) положениях. Привод работает следующим образом. Включение выключателя происходит при подаче питания на катушку электромагнита включения. При этом сердечник со штоком *1*, поднимаясь, упирается в ролик *5* и поднимает его вверх. Серьга *13*, поворачиваясь вокруг оси ролика *2*, упирается в отключающую собачку *12*, а рычаг *7* под воздействием серьги *6* вращает вал привода *8* по часовой стрелке и включает выключатель. При включении удерживающая собачка *3* под воздействием оси ролика *5* отводится влево и заскакивает на эту ось в конце включения под воздействием пружины *4*. При этом ось ролика *5* переводится штоком *1* за удерживающую собачку *3*, чтобы обеспечить ее надежное зацепление во включенном положении. Отключение выключателя происходит от воздействия электромагнита отключения *9* на отключающую собачку *12*. Собачка, поворачиваясь вокруг оси, освобождает ролик *12* и дает возможность повернуться серьгам *10* и *13*. Ось ролика *5*, соскальзывая с собачки *3*, вместе с серьгой *6* и рычагом *7* опускается вниз под воздействием отключающих пружин и пружинного буфера, выключатель отключается. В конце отключения механизм занимает положение, показанное на рис. XII.21,*б*, фиксируясь масляным буфером.

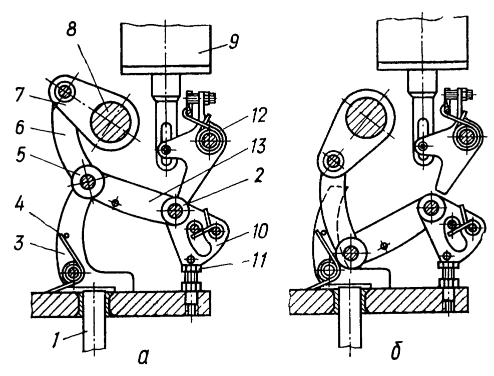


Рис. XII.21. Механизм привода, встроенного в выключатель типа ВМПЭ-10:

а — включенное положение; *б* — отключенное положение.

Механическая регулировка привода производится после установки и регулировки отключающих и буферных пружин. При регулировке необходимо отрегулировать в отключенном положении привода зазор 0,3—0,8 мм между роликом и отключающей собачкой *12*. Регулировка производится болтом упора *11*, грани которого устанавливаются параллельно серьгам *10*. Затем необходимо отрегулировать зазор 1—1,5 мм между удерживающей собачкой *3* и осью ролика при подтянутом до упора сердечнике электромагнита включения рычагом ручного включения. Регулировка производится изменением длины штока *1*,

после чего шток сердечника необходимо засверлить и застопорить винтами. Проверяется состояние рабочих поверхностей собачек, состояние пружин механизма привода, креплений.

Регулировка электромагнитов включения и отключения и блок-контактов приводов выключателей. Включающие (пружинные приводы) и отключающие элементы разбираются и тщательно осматриваются. Сердечник должен легко двигаться в гильзе, на его поверхности и на гильзе не должно быть зазубрин, шероховатостей, грязи, ржавчины, остатков смазки. Необходимо проверить, есть ли диамагнитная шайба, которая препятствует «прилипанию» сердечника к контрполюсу от остаточного намагничивания. Запрещается смазывать поверхности сердечников и бойков электромагнитов и встроенных реле. После установки на место электромагнитов проверяется легкость хода сердечников. Для этого сердечник следует повернуть четыре-пять раз по $^1/_4$ оборота вокруг своей оси. Сердечник должен двигаться легко и свободно в любом положении. Расстояние между бойком и рычагом отключающего устройства должно иметь следующие значения:

Привод	ПС-10	ПС-20	ПЭ-2	ПЭ-31	ПЭ-33
Зазор, мм	8+1	14+1	0	0	0

Привод	ПЭ-3	ПС-30	Пружинно-грузовой
Зазор, мм	0	3+1	5—6

Для других типов приводов зазор между бойком и рычагом отключающего устройства устанавливается согласно инструкции или исходным данным.

Необходимо, чтобы запас хода бойка был не менее 1—2 мм, т. е. чтобы освобождение включающего и отключающего механизма происходило тогда, когда расстояние между поднимаемым сердечником и его контрполюсом не менее 1—2 мм. Релейный валик (релейная планка) в пружинно-грузовых и ручных приводах не должен иметь искривлений, прогибов и т. п., должен свободно вращаться в подшипниках. Рычаги релейного валика, по которым бьют бойки отключающих электромагнитов, должны быть надежно укреплены и не должны смещаться относительно бойков электромагнитов.

До регулировки блок-контактов производится очистка их от пыли, грязи и предохранительной смазки, проверка легкости хода подвижных частей, достаточности нажатия для надежного контакта. При регулировке блок-контактов КСА необходимо добиться, чтобы закрывающиеся и открывающиеся контакты были взаимно сдвинуты на угол 90°, чтобы блок-контакт КСУ, используемый в цепи контактора включения, обеспечивая достаточную продолжительность импульса на включение, размыкался только в самом конце операции включения. Блок-контакт в цепи отключения должен замыкаться в самом начале операции включения для подготовки цепи отключения на случай включения выключателя на короткое замыкание и размыкаться в начале операции отключения для предотвращения подгорания контактов выходных промежуточных реле защиты. Выполнить эти условия удается не всегда, поэтому в схемах защиты и управления применяют самоудерживание выходного реле. Регулировка блок-контактов производится с помощью специальных тяг за счет изменения их длины, а также перестановкой рычага КСА.

Для регулировки момента замыкания и размыкания цепи и продолжительности замкнутого состояния цепи на блок-контактах типа КСА рекомендуется использовать возможность поворота контактных шайб на валу. Контакты разбирают, а шайбы переставляют на нужный угол по граням вала. Иногда, чтобы увеличить время замкнуто-

го состояния цепи, применяют параллельное включение отдельных контактных шайб, повернутых друг относительно друга на некоторый угол.

Угол между рычагом КСА и направлением тяги должен быть не менее 30°, чтобы передача не подходила близко к мертвой точке, вблизи которой возникают большие изгибающие усилия в рычаге и тяге. В разомкнутом положении расстояние между подвижными и неподвижными контактами должно быть для контактов КСА не менее 3—5 мм, для контактов КСУ — не менее 4—5 мм. Рекомендуется регулировать блок-контакты при медленном ручном включении и отключении выключателя. В некоторых типах электромагнитных приводов в цепи включения используется проскальзывающий блок-контакт, разомкнутый в обоих конечных положениях привода. Специальная регулировка этого блок-контакта обычно не требуется. Для обеспечения цепи включения при отключенном положении выключателя параллельно проскальзывающему блок-контакту включается блок-контакт обычной конструкции.

В пружинных приводах необходима правильная регулировка аварийных блок-контактов БКА и блок-контактов готовности привода. БКА должны переключаться при отключении от электромагнита дистанционного отключения и механической кнопки ручного отключения и не должны переключаться при отключении выключателя от релейной защиты.

Проверка действия механизма свободного расцепления. Свободное расцепление должно быть обеспечено по крайней мере на участке хода включения от замыкания цепи выключателя с учетом длины промежутка между его контактами, пробиваемого при сближении последних, до полного включенного положения выключателя. (Под свободным расцеплением понимается возможность освобождения выключателя от связи с удерживающим и заводящим механизмами привода при срабатывании отключающего устройства, после чего выключатель отключается под действием своих отключающих пружин.)

Проверка действия механизма свободного расцепления должна быть выполнена не менее чем в двух положениях: в момент замыкания первичной цепи и при полностью включенном положении. Кроме того, в соответствии с заводскими инструкциями действие механизма свободного расцепления электромагнитных приводов должно быть проверено при поднятом до упора плунжере электромагнита включения. При проверке действия механизма свободного расцепления пружинных приводов должны учитываться специфические требования конструкций приводов.

Действие механизма свободного расцепления проверяют при медленном (рычагом или домкратом) доведении выключателя до соприкосновения контактов. Импульс на отключение при этих испытаниях подают через блок-контакты в цепи отключающей катушки.

При наладке выключателей и их приводов следует проверить надежность действия блокировки от «прыгания» путем подачи команды на включение выключателя при предварительно поданной команде на его отключение.

Снятие электрических характеристик. Для электромагнитов управления постоянного и переменного тока измеряют омическое сопротивление, для электромагнитов переменного тока — также потребление тока при заторможенном и подтянутом сердечнике. Полученные данные сравниваются с заводскими. Паспортное значение омического сопротивления включающих и отключающих электромагнитов и потребляемые ими мощности приведены в табл. XII.3 и XII.4.

Напряжение срабатывания электромагнитов приводов выключателей измеряют по схемам, приведенным на рис. XII.22.

Таблица XII.3. Сопротивление постоянному току, Ом, обмоток элект

Тип привода	Постоянный					
	Электромагнит включения				Электромагнит	
	24	48	110	220	24	48
ППМ-10	3,7	7,4	37	156	3,6	14,9
ПП-67	3,8	14,2	78	295	3,0	11,6
ВМП-10П	4,8	14,9	87,5	311	4,8	14,9
ВМПП-10, ВММ-10	6,3	15,5	80	200	6,3	15,5
ПЭ-11	—	—	0,95	3,8	—	—
ШПЭ-11Б, ШПЭ-12	—	—	0,54	2,18	—	—
ШПЭ-33	—	—	0,225	0,9	—	—
ШПЭ-31	—	—	0,65	2,6	—	—
ШПЭ-42, ШПЭ-44	—	—	0,23	0,92	—	—
ПС-10, ПС-10М	—	—	0,56	2,26	—	—
ШПС-30	—	—	0,3	1,2	—	—
ПС-31, ПС-30	—	—	0,33	1,32	—	—
ВМПЭ-10-630-20	—	—	0,612	2,44	—	—
ВМПЭ-10-1000-20	—	—	0,612	2,44	—	—
ВМПЭ-10-1600-20	—	—	0,612	2,44	—	—
ВМПЭ-10-630-31,5	—	—	0,55	2,2	—	—
ВМПЭ-10-1600-31,5	—	—	0,55	2,2	—	—
ВМПЭ-10-3200-31,5	—	—	0,268	1,06	—	—

Измерение производится без тока в первичной цепи выключателя с целью определения фактических значений напряжения на зажимах электромагнитов приводов, при которых выключатели сохраняют работоспособность, т. е. выполняют операции включения и отключения

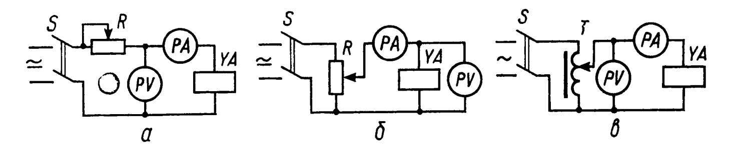


Рис. XII.22. Схемы измерения напряжения и тока срабатывания электромагнитов управления приводов выключателей:
а — с реостатом; *б* — с потенциометром; *в* — с автотрансформатором.

до конца. При этом временные и скоростные характеристики могут не соответствовать нормируемым значениям. Напряжение срабатывания должно быть на 15—20 % меньше нижнего предела рабочего напряжения на зажимах электроприводов. Напряжения срабатывания электромагнитов управления выключателей с пружинными приводами должны определяться при рабочем натяге включающих пружин согласно указаниям заводских инструкций.

Кроме измерения напряжения срабатывания определяются значения напряжений на зажимах электромагнитов приводов, при которых обеспечивается надежная работа масляных выключателей (без тока

ромагнитов управления масляных выключателей при 20 °С

ток, В		Переменный ток, В					
отключения		Электромагнит включения			Электромагнит отключения		
110	220	100	127	220	100	127	220
86	314	3,8	5,3	10	7,4	17,4	49
63	250	11,3	16,4	58	8,3	12	39
87,5	311	7,33	18	51	7,33	18	51
80	200	20	26	68	20	26	88
44	176	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
11	44	—	—	—	—	—	—
11	44	—	—	—	—	—	—
11	44	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
13,4	53,6	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—
22	88	—	—	—	—	—	—

в первичной цепи) с соблюдением нормируемых временных и скоростных характеристик. Надежная работа выключателя при отключении должна обеспечиваться при напряжениях 65—120 % номинального, при включении 80—110 % номинального для выключателей с током включения до 50 кА и 85—110 % номинального для выключателей с током включения более 50 кА.

Испытание выключателя многократными включениями и отключениями

Многократные опробования масляных выключателей производятся при напряжении на зажимах электромагнитов:

включения — 110, 100, 80 (85) % номинального и минимальном напряжении срабатывания;

отключения — 120, 100, 65 % номинального и минимальном напряжении срабатывания. Количество операций при повышенном и пониженном напряжениях должно быть 3—5 и при номинальном напряжении — 10. Кроме того, выключатели следует подвергнуть 3—5-кратному опробованию в цикле В—О без выдержки времени, а выключатели, предназначенные для работы в режиме АПВ, также 2—3-кратному опробованию в циклах О—В и О—В—О. Работа выключателей в сложных циклах должна проверяться при номинальном и пониженном до 80 (85) % номинального напряжения на зажимах электромагнитов приводов.

Таблица XII.4. **Потребляемая мощность электромагнитов управления пружинных приводов масляных выключателей**

Тип привода	Номинальное напряжение электро-магнитов, В	Назначение электромагнита	Потребляемая мощность при номинальном напряжении, В·А	
			Сердечник отпущен	Сердечник подтянут
ППМ-10	100 127 220	Отключение	— 480 480	290 320 330
	100 127 220	Включение	1000 990 1200	550 510 640
ПП-67	100 127 220	Отключение	500	200
	100 127 220	Включение	400	170
ВМП-10П	100 127 220	Отключение и включение	420 430 450	315 318 340
ВМПП-10, ВММ-10	100 127 220	Отключение и включение	290 343 385	180 197 264

Объем приемосдаточных испытаний воздушных выключателей

Вводимые в эксплуатацию воздушные выключатели необходимо подвергать приемосдаточным испытаниям в следующем объеме (по ПУЭ).

1. Измерение сопротивления изоляции опорных изоляторов, изоляторов гасительных камер и отделителей, изолирующих тяг, вторичных цепей и обмоток включающего и отключающего электромагнитов.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты изоляции.

3. Измерение сопротивления постоянному току: а) контактов выключателя; б) делителей напряжения и шунтирующих резисторов выключателя; в) обмоток включающего и отключающего электромагнитов.

4. Проверка характеристик выключателя.

5. Проверка срабатывания привода выключателя при пониженном напряжении.

6. Испытание выключателя многократными включениями и отключениями.

7. Проверка хода якоря электромагнитов управления. Ход якоря электромагнитов с форсировкой должен составлять 8—0,5 мм.

Кроме перечисленного объема работ измеряют емкости и $\operatorname{tg}\delta$

конденсаторов емкостных делителей. Предельные значения $\operatorname{tg} \delta$ — 0,4 % при температуре 15—35 °С (согласно «Нормам испытания электрооборудования», значение $\operatorname{tg} \delta$ при температуре ± 20 °С не должно превышать 0,3 %). Методика измерения приведена в гл. III.

Испытание изоляции воздушных выключателей

Сопротивление изоляции опорных изоляторов, изоляторов гасительных камер и отделителей и изолирующих тяг измеряют мегомметром на 2500 В или испытательной установкой выпрямленного тока. В случае необходимости устанавливают на внешней поверхности охранные кольца (см. гл. III). Схема измерения приведена на рис. XII.23. Предельные значения сопротивления изоляции приведены в табл. XII.5.

Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей, в том числе включающего и отключающего электромагнитов производится в соответствии с табл. III.4.

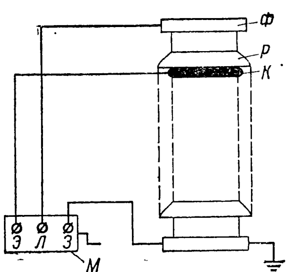


Рис. XII.23. Измерение сопротивления изоляции изоляторов с применением охранных колец:

Ф — металлический фланец; *Р* — ребро изолятора; *К* — охранное кольцо; *М* — мегомметр; *Э* — экран; *Л* — линия; *З* — земля.

Опорная изоляция выключателя, состоящая из многоэлементных изоляторов, испытывается напряжением 50 кВ промышленной частоты, прикладываемым к каждому элементу изолятора. Опорную цельнофарфоровую изоляцию испытывают напряжением промышленной частоты, значения напряжения приведены в табл. IX.4. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин. Согласно ПУЭ, испытание изоляции повышенным напряжением обязательно для выключателей напряжением до 35 кВ. Методика испытаний приведена в гл. III.

Таблица XII.5. **Предельные значения сопротивления опорной изоляции и изоляции подвижных частей воздушных выключателей**

Испытываемый элемент	Номинальное напряжение выключателя, кВ	Сопротивление изоляции, МОм
Изоляция воздухопроводов, опорных и подвижных частей, выполненная из фарфора	До 15	1000
	20—35	5000
	110 и выше	5000
Тяга, выполненная из органических материалов	20—35	3000

Измерение сопротивления постоянному току контактов воздушных выключателей

Измерению подвергается весь токоведущий контур, а также контактные разрывы каждой камеры, отделителя, ножа и т. д. в отдельности.

Измерение сопротивления производится микроомметром, двойным мостом или амперметром и вольтметром. Методика измерений приведена в гл. II. Сопротивление постоянному току делителей напряжения и электромагнитов управления измеряется одинарным мостом.

Таблица XII.6. **Предельные значения сопротивления постоянному току контактов выключателей**

Тип выключателя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление, мкОм					
			всего контура полюса	гасительной камеры	одного разрыва гасительной камеры	ножа отделителя	одного разрыва отделителя	одного дугогасительного устройства
ВВ-15/600	15	600	120	—	—	—	—	—
ВВН-35/600	35	600	110	—	—	—	—	—
ВВН-35/1000	35	1000	60	—	—	—	—	—
ВВН-110/800-4000	110	800	350	150	75	200	—	—
ВВН-110-2000/4000	110	2000	150	100	50	50	—	—
ВВ-4001-110/600	110	600	500	200	100	250	—	—
ВВ-4001У	110	800	500	200	100	250	—	—
ВВН-110-6	110	2000	120	40	20	40	20	—
ВВН-154/800-4000	150	800	425	225	75	200	—	—
ВВН-154/2000-6000	150	2000	200	150	50	50	—	—
ВВН-154/800-6000	150	800	425	225	75	200	—	—
ВВН-154/2000-6000	150	2000	200	150	50	50	—	—
ВВН-154/800-6000	150	800	425	225	75	200	—	—
ВВН-154/8	150	2000	160	60	20	60	20	—
ВВН-220-10	220	2000	200	80	20	80	20	—
ВВН-220-15	220	2000	260	100	20	80	20	—
ВВ-220	220	1000	400	250	—	150	—	—
ВВН-220/1000-7000	220	1000	400	250	40	150	—	—
ВВН-220-2000-7000	220	2000	400	250	40	150	—	—
ВВН-35-2	35	2000	60	—	—	—	—	—
ВВУ-35	35	2000	—	—	—	—	—	80
ВВБ-110-6	110	2000	—	—	—	—	—	80
ВВБ-110-31,5/2000	110	2000	—	—	—	—	—	80
ВВБМ-110Б-31,5/2000	110	2000	—	—	—	—	—	80
ВВУ-110-40/2000	110	2000	300	—	—	—	—	80
ВВБ-150Б-25/2000	150	2000	—	—	—	—	—	80
ВВБ-150Б-31,5/3200	150	3200	—	—	—	—	—	80
ВВБ-220-12	220	2000	300	—	—	—	—	80
ВВБ-220У-15	220	2000	640	—	—	—	—	80
ВВД-220Б	220	2000	300	—	—	—	—	80

Предельные значения сопротивлений постоянному току контактов, делителей и электромагнитов воздушных выключателей приведены в табл. XII.6—XII.8.

Таблица XII.7. **Предельные значения сопротивления постоянному току элементов омических делителей напряжения и шунтирующих резисторов воздушных выключателей**

Тип выключателя	Сопротивление, Ом
ВВН-154/800-4000, ВВН-154/2000-6000, ВВН-154/800-6000, ВВ-220	180 000 ± 2 %
ВВН-220/1000-7000, ВВН-220/2000-7000	
ВВН-220-10, ВВН-154-8, ВВН-220-15	15 000 ± 150
ВВН-110-6	150 ± 5
ВВУ-35	4,6—0,25
ВВУ-110, ВВБ-220У-15	5 ± 0,3
ВВБ-110-6, ВВБ-220-12	$100^{+2}_{-0,5}$
ВВБМ-110Б-31,5/2000	50 ± 0,5
ВВБ-150Б-25/2000	100 ± 0,5
ВВБ-150Б-31,5/3200	100 ± 0,5
ВВД-220Б-40/2000	50 ± 0,5

Таблица XII.8. **Предельные значения сопротивления постоянному току обмоток электромагнитов воздушных выключателей**

Тип выключателя	Соединение электромагнитов фаз	Напряжение, В	Сопротивление обмоток, Ом
ВВН-110, ВВН-35, ВВН-154, ВВ-220 ВВУ-35, ВВБ-110-6, ВВБМ-110, ВВБ-150, ВВБ-220-12, ВВД-220Б, ВВУ-110	Раздельное или параллельное (электромагниты с форсировкой)	220	1-я обмотка — 10 ± 1,5 2-я обмотка — 45 ± 2,0 Обе обмотки — 55 ± 3,5
ВВБ-220У-15		110	1-я обмотка — 2,4 ± 0,05 2-я обмотка — 11,3 ± 0,55 Обе обмотки — 13,7 ± 0,55
ВВН-110, ВВ-220, ВВН-220	Раздельное или параллельное	220	$64^{+3\%}_{-8\%}$
ВВН-110, ВВН-154, ВВН-220, ВВ-220	Последовательное	220	$8,3^{+3\%}_{-8\%}$
ВВН-35, ВВН-110, ВВН-154, ВВ-220	Раздельное или параллельное	110	$16,3^{+3\%}_{-8\%}$
ВВН-110, ВВН-154 ВВ-220	Последовательное	110	$1,68^{+3\%}_{-8\%}$
ВВ-35, ВВН-35	Раздельное	220	$49^{+1,47}_{-3,92}$

Проверка характеристик воздушных выключателей

Для измерения временных характеристик при наладке воздушных выключателей используется магнитоэлектрический осциллограф. Предварительные измерения при наладке, а также измерения отдельных величин (собственное время отключения, бесконтактная пауза и др.) после небольших работ на выключателе можно выполнить с помощью электромиллисекундомера (ЭМС-54).

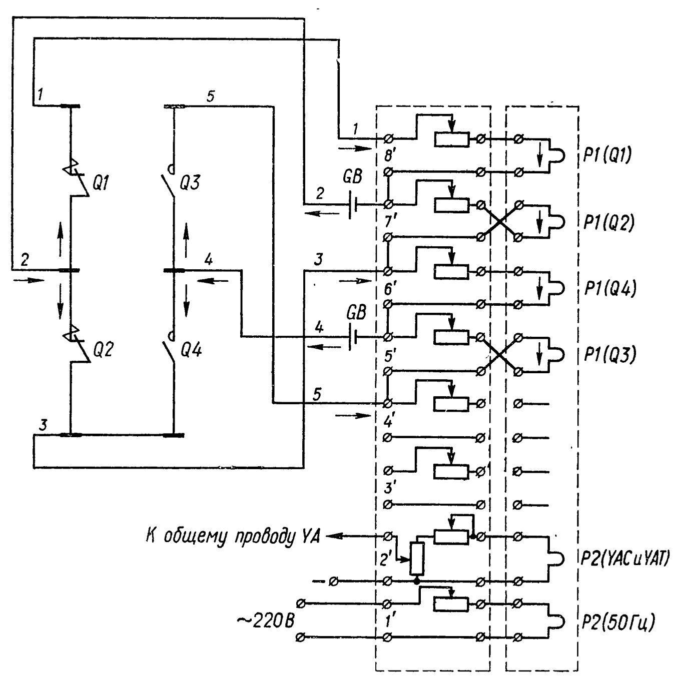


Рис. XII.24. Схема осциллографирования работы выключателя с воздухонаполненным отделителем:

Q1, Q2 — контактные разрывы камеры; *Q3, Q4* — контактные разрывы отделителя; *GB* — батарея питания; *P1, P2* — вибраторы осциллографа.

На рис. XII.24 приведена схема осциллографирования (описание осциллографа см. в гл. II) работы выключателя с воздухонаполненным отделителем. Четыре вибратора используются для осциллографирования работы контактов камеры и отделителя, один вибратор для записи тока электромагнитов управления (*YA*) и один — в качестве отметчика времени, записывающего синусоиду переменного тока 50 Гц, по которой определяется на осциллограмме продолжительность отдельных циклов работы выключателя. Для достижения одинакового направления тока в вибраторах и отклонения лучей на осциллограмме провода *5* и *7* присоединены к вибраторам накрест. Для осциллографирования контактов выключателей следует применять вибраторы низкой чувствительности.

После сборки схемы, приведенной на рис. XII.24, и схемы управления выключателей осциллографирование проводится в такой последовательности. Подготавливается необходимая операция (отключение, включение и т. д.), устанавливается необходимое давление воздуха в баках и проверяется положение выключателя; удаляются люди из зоны, огражденной для проведения испытаний выключателя; устанавливается скорость движения пленки осциллографа, равная 250 мм/с; для осциллографирования простых операций длина кадра устанавливается равной 12—15 см, для сложных циклов — 18—20 см; включаются питание, вибраторы и электродвигатель осциллографа и пропускается вхолостую 5—10 см пленки; специальным сигналом персонал предупреждается о начале испытаний; подается оперативный ток и проводится подготовленная операция (включение выключателя, отключение и т. д.); сразу после операции снимается оперативный ток; проверяется положение выключателя.

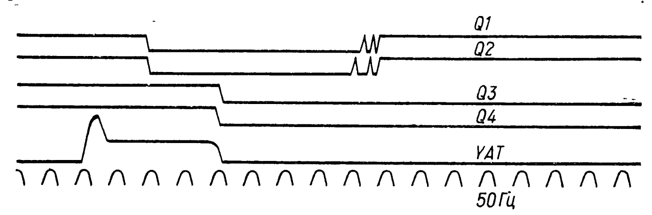


Рис. XII.25. Осциллограмма отключения воздушного выключателя с воздухонаполненным отделителем.

Для оценки полученных результатов первоначально снимают осциллограммы простых операций. На рис. XII.25 приведена осциллограмма, снятая по схеме, соответствующей рис. XII.24. На рис. XII.26 приведена осциллограмма работы выключателя, на которой отмечены участки, соответствующие измеряемым временным характеристикам работы выключателя: a — собственное время отключения; b — разновременность размыкания контактов камеры; c — бесконтактная пауза камеры; d — бесконтактная пауза верхнего разрыва камеры; e — бесконтактная пауза нижнего разрыва камеры; f — запаздывание размыкания отделителя относительно размыкания контактов камеры; g — разновременность размыкания контактов отделителя; k — разновременность смыкания контактов камеры, включая вибрацию; i — длительность отключающего импульса; r — время включения; s — разновременность смыкания контактов отделителя; j — длительность включающего импульса.

При расшифровке осциллограмм масштаб времени определяется из выражения

$$m = \frac{nT}{l} \text{ [с/мм]},$$

где T — период синусоиды отметчика времени (при частоте 50 Гц $T = 0{,}02$ с, при частоте 500 Гц $T = 0{,}002$ с); n — число периодов, укладывающихся на отрезке осциллограммы длиной l.

Осциллографирование работы воздушного выключателя с ножевым отделителем проводится так же, как осциллографирование работы выключателей с воздухонаполненным отделителем. При этих измерениях определяют характеристики движения ножа с помощью специального приспособления — регистратора хода.

На рис. XII.27 показан регистратор хода конструкции ЦВЛ Мосэнерго, представляющий собой текстолитовый диск *Д* с латунными ламелями *Л*, утопленными в текстолите заподлицо и крепящимися заклепками *З*. Ламели спаяны гибким проводом *Г*, выведенным на зажим *Ж*. Ламели и изоляционные промежутки между ними имеют форму одинаковых сегментов с центральным углом $\varphi = 5°$. Регистратор хода жестко соединен с валом ножа, а на приводе отделителя крепится неподвижный пружинящий контакт, который, соприкасаясь с ламелями

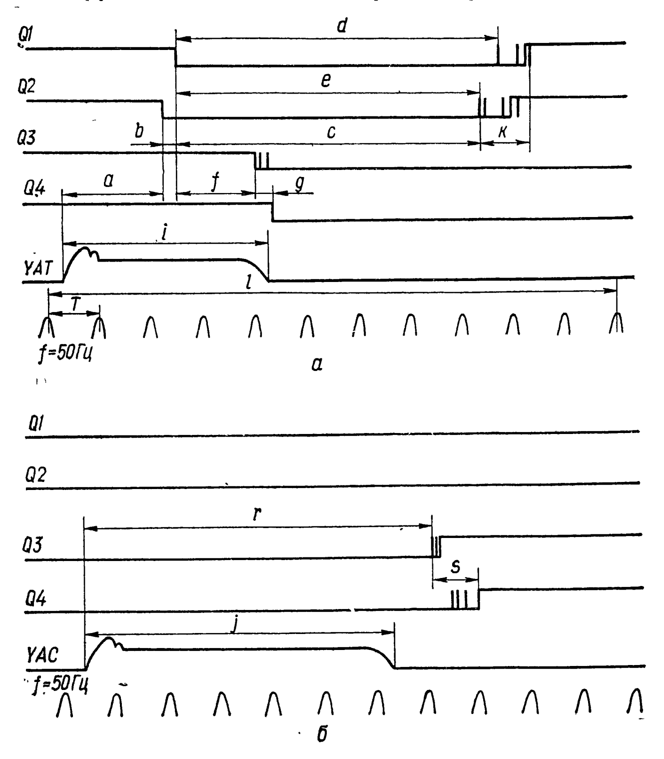


Рис. XII.26. Осциллограмма работы воздушного выключателя с воздухонаполненным отделителем:

а — осциллограмма отключения; *б* — осциллограмма включения.

и изоляционными промежутками поворачивающегося вместе с валом ножа регистратора хода, периодически замыкает и разрывает цепь вибратора осциллографа. Существуют также и другие конструкции и способы крепления регистратора хода (например, регистратор хода крепится к приводу отделителя, а на ноже отделителя — подвижный контакт).

Схема осциллографирования работы выключателя с ножевым отделителем приведена на рис. XII.28. Помимо регистратора хода при наладке применяется вспомогательный контакт *2Т* для фиксации отключенного положения ножа, установленный на нижнем элементе камеры.

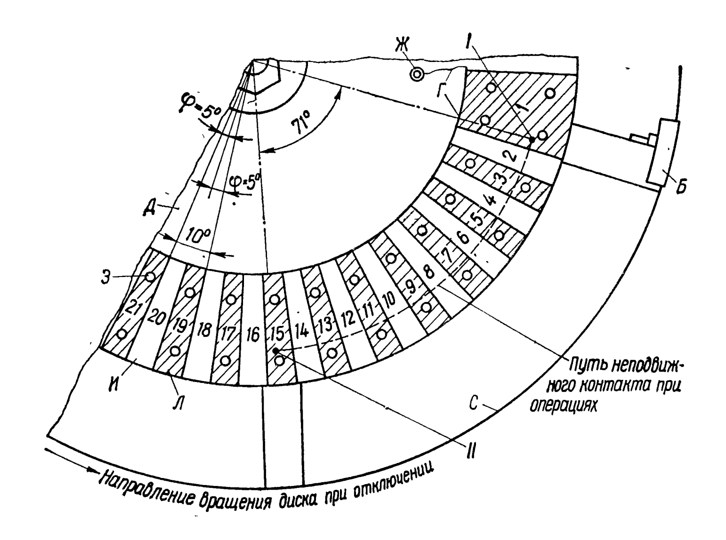


Рис. XII.27. Диск регистратора хода ножа отделителя воздушного выключателя:

I — положение неподвижного контакта при включенном ноже; *II* — положение неподвижного контакта при отключенном ноже.

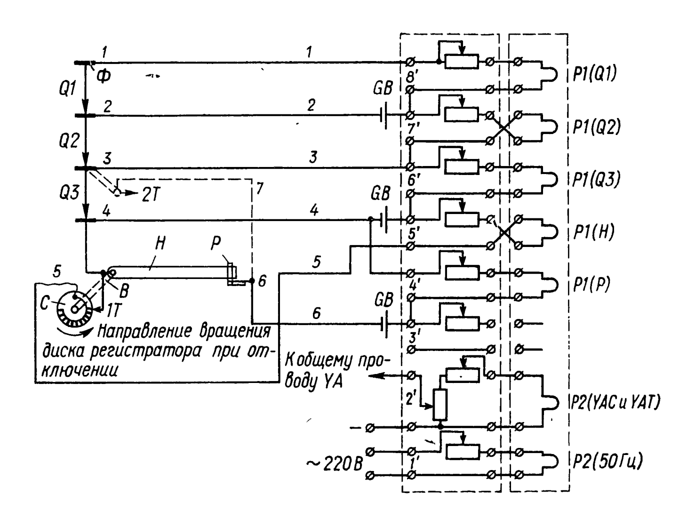


Рис. XII.28. Схема осциллографирования работы воздушного выключателя с ножевым отделителем:

Ф — фланцы камеры; *Н* — нож отделителя; *В* — вал ножа; *Р* — неподвижный контакт отделителя; *С* — диск регистратора хода ножа; *1Т* — неподвижный контакт регистратора; *2Т* — вспомогательный контакт; *Q1—Q3* — контактные разрывы камеры; *Р1*, *Р2* — вибраторы.

На рис. XII.29 показана осциллограмма отключения выключателя с ножевым отделителем. На осциллограмме нечетными номерами обозначены участки соприкосновения с неподвижным контактом ламелей регистратора хода, четными — изоляционные промежутки. Отмечены также участки, соответствующие измеряемым временным характеристикам движения ножа: c — время движения ножа от момента выхода из губок до полной остановки; d — время от подачи команды на отключение до полной остановки ножа; e — время от подачи команды на

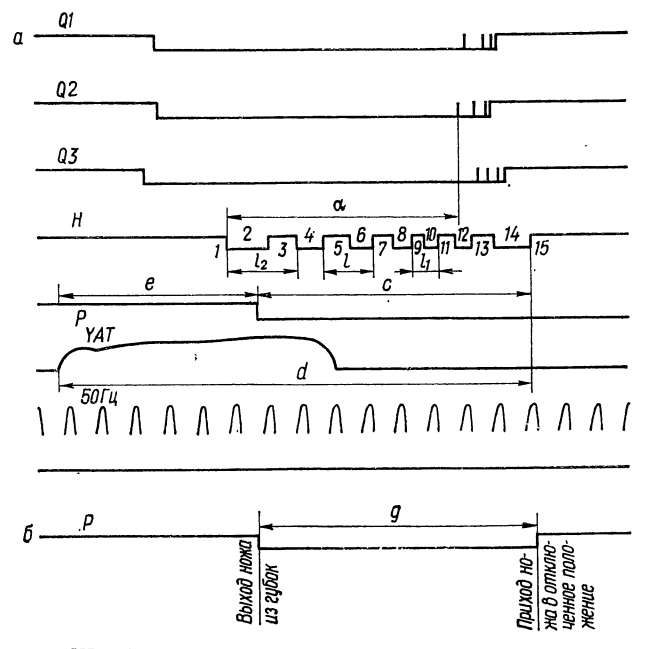


Рис. XII.29. Осциллограмма отключения воздушного выключателя с ножевым отделителем:

а — осциллограмма с использованием для записи регистратора хода ножа; *б* — осциллограмма с использованием для записи вспомогательного контакта.

отключение до выхода ножа из губок; $\alpha = \varphi n$ — угол поворота ножа от включенного положения до момента первого вибрационного смыкания контактов камеры, где φ — угол сегмента ламели и изоляционного промежутка регистратора хода (на рис. XII.27 $\varphi = 5°$); n — число ламелей и изоляционных промежутков, пройденных ножом (по осциллограмме).

Помимо перечисленных временных характеристик по осциллограмме может быть определена линейная скорость конца ножа на любом участке его движения. Линейная скорость конца ножа определяется из выражения

$$v = \frac{2\varphi}{360} \frac{2\pi R}{ml} \text{ [м/с]},$$

где R — длина ножа, м; φ — угол сегмента ламели и изоляционного

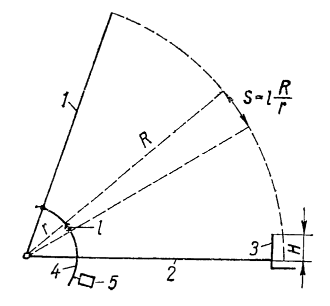


Рис. XII.30. Схема определения скорости движения ножа отделителя по виброграмме:

1 — нож в отключенном положении; *2* — нож во включенном положении; *3* — неподвижный контакт отделителя; *4* — сектор, используемый для записи виброграммы; *5* — виброграф.

Рис. XII.31. Схемы измерения временных характеристик воздушных выключателей электромиллисекундомером:

а — времени включения выключателя; *б* — времени отключения выключателя; *в* и *г* — разновременности размыкания контактов гасительных камер; *д* — времени бесконтактной паузы; *е* — времени запаздывания ножа отделителя.

промежутка регистратора хода (см. рис. XII.27); l — длина отрезка, измеренная на осциллограмме движения ножа, мм; m — масштаб времени на осциллограмме, с/мм.

Так, скорость ножа, определенная на участке *2—3* по отрезку l_2, является скоростью в момент выхода ножа из губок неподвижного контакта отделителя. Максимальная скорость имеет место на участке *9—10*, длина которого l_1 минимальна.

Аналогично по осциллограмме включения могут быть определены: а) скорость ножа — максимальная и в момент касания губок неподвижного контакта отделителя; б) время движения ножа от момента трогания до момента касания им губок; в) время от подачи команды на включение до момента трогания ножа; г) угол поворота ножа от начального положения до момента обрыва тока в электромагните включения.

Для определения скорости движения ножа отделителя должен быть также использован виброграф.

На рис. XII.30 приведена схема установки вибрографа и определения скорости движения ножа отделителя по виброграмме. Скорость движения конца ножа

$$v = \frac{lR}{100tr} \text{ [м/с]},$$

Таблица XII.9. **Нормы характеристик воздушных выключателей 35 кВ типа ВВН-35/600 и ВВН-35/1000**

Характеристика	Норма характеристики
Собственное время отключения, с	$\leqslant 0{,}07$
Собственное время включения, с	$\leqslant 0{,}3$
Наибольшая скорость движения нижних подвижных контактов, м/с	
при включении	$3 \pm 0{,}5$
при отключении	$4 \pm 0{,}5$
Скорость движения нижних подвижных контактов при включении в момент смыкания, м/с	$2{,}5 \pm 0{,}5$
Сброс давления за одно отключение через 30 с после операции, МПа (кгс/см²)	0,41—0,46 (4,2—4,7)
Расход воздуха за одно отключение, л	840—940
Сброс давления за одно включение, кПа (кгс/см²)	49 (0,5)
Расход воздуха за одно включение, л	100
Наименьшее давление срабатывания выключателя, МПа (кгс/см²)	$\leqslant$ 1,27 (13)
Пределы рабочего давления, МПа (кгс/см²)	1,47—2,08 (15—21)
Наименьшее давление, при котором разрешается АПВ, МПа (кгс/см²)	1,96 (20)
Вжим подвижных контактов, мм	12—13
Полный ход нижних подвижных контактов, мм	335^{+5}_{-10}
Полный ход верхнего подвижного контакта, мм	42—43
Зазор между бойками электромагнитов управления и штоками поршней пневматического моста, мм	2—2,5
Зазор между штоками поршней пневматического моста и пусковыми клапанами, мм	0,5—1
Отскок нижних подвижных контактов при отключении, мм	$\leqslant 30$

где l — отрезок виброграммы, мм, пройденный за время t, с; R — длина ножа, м; r — радиус сектора вибрографа, м. Отрезок l измеряется на виброграмме между нулевыми точками синусоиды. Время t определяется числом периодов, содержащихся в отрезке l.

Максимальную скорость ножа определяют на том участке виброграммы, где период синусоиды имеет наибольшее значение. Скорость измеряют в момент касания ножом губок. Для этого находят на виброграмме точку, отстоящую от конца на отрезок Hr/R, где H — ход ножа в губках.

Время движения ножа определяется числом периодов на виброграмме. Аналогичным образом расшифровывается виброграмма отключения.

Как отмечалось выше, в отдельных случаях измерение некоторых временных характеристик можно выполнять электромиллисекундомером. На рис. XII.31 приведены схемы измерения некоторых временных характеристик электромиллисекундомером типа ЭМС-54.

Если при измерении по схеме, соответствующей рис. XII.31,*в*, стрелка прибора не отклоняется, необходимо применить схему по рис. XII.31,*г*. Блокирующую кнопку *SB* устанавливают так, чтобы при включенном ноже отделителя ее контакты были замкнуты.

У выключателей, число контактных разрывов камер которых более двух, разновременность размыкания определяется для первого и второго разрывов, затем для второго и третьего и т. д. При измерениях контактные разрывы, не участвующие в измерении, должны быть закорочены.

Измерение длительности бесконтактной паузы производится для каждого контактного разрыва.

Характеристики выключателей, снятые при номинальном, минимальном и максимальном рабочих давлениях при простых операциях и сложных циклах, должны соответствовать данным завода-изготовителя.

Нормы характеристик воздушных выключателей 35—220 кВ приведены в табл. XII.9—XII.14.

Проверка срабатывания привода выключателя при пониженном напряжении и испытание воздушных выключателей многократными включениями и отключениями

Напряжение срабатывания электромагнитов управления определяют при наибольшем давлении воздуха в баках 2,08 МПа (21 кгс/см²) по схеме, приведенной на рис. XII.22,*с*. Напряжение на электромагниты должно подаваться толчком. При необходимости напряжение поднимается на 4—6 В (при отключенных электромагнитах) и вновь подается толчком и т. д. до срабатывания выключателя. Затем при неизменном положении движка потенциометра вместо электромагнита управления включается сопротивление, равное по значению сопротивлению обмотки электромагнита, и по вольтметру определяется напряжение срабатывания. Напряжение срабатывания электромагнитов управления не должно превышать 65 % номинального. Во избежание повреждения обмоток электромагнитов в случае непереключения СБК импульсы следует подавать кратковременные.

Заключительной операцией при наладке воздушных выключателей является их испытание многократными включениями и отключениями. Количество операций при этих испытаниях приведено

Таблица XII.10. **Нормы характеристик воздушных выключателей**

Характеристика (данные на один полюс)	Норма	
	ВВН-110/800-4000	ВВН-110/2000-4000
Собственное время отключения (от подачи команды до размыкания первого разомкнувшегося контакта гасительной камеры), с	⩽0,06	⩽0,06
Разновременность размыкания контактов гасительной камеры, с	⩽0,006	⩽0,006
Бесконтактная пауза гасительной камеры при отключении (время от размыкания последнего разомкнувшегося контакта до первого вибрационного смыкания контактов), с	0,2—0,25	0,22—0,27
Запаздывание размыкания ножа отделителя относительно размыкания контактов камеры, с	0,03—0,05	0,04—0,07
Разновременность смыкания контактов камеры (от первого вибрационного смыкания первого сомкнувшегося контакта до первого вибрационного смыкания последнего сомкнувшегося контакта), с	⩽0,02	⩽0,02
Длительность вибрации контактов камеры (от первого вибрационного смыкания последнего сомкнувшегося контакта до прекращения вибрации), с	⩽0,04	⩽0,04
Собственное время включения, с	⩽0,3	⩽0,3
Время от подачи команды на включение до момента трогания ножа (по данным наладки), с	Не более 0,12	
Длительность импульса, с		
включающего	0,12—0,16	0,12—0,16
отключающего	—	—
Время движения ножа, с		
при включении	—	—
при отключении	—	—
Разновременность включения фаз, с	0,05	0,05
Наименьшая бесконтактная пауза в цикле, с		
АПВ с ножом	0,8	0,8
БАПВ	0,3	0,3

110—150 кВ с ножевым отделителем

характеристики выключателя			
ВВ-4001-110/600	ВВ-4001У-110/800	ВВН-154/800-4000	ВВН-154/2000-6000 (ВВН-154/800-6000)
⩽0,06	⩽0,06	⩽0,06	⩽0,06
⩽0,006	⩽0,006	⩽0,006	⩽0,006
0,15—0,2	0,2—0,25	0,2—0,25	0,18—0,25
0,03—0,05	0,025—0,05	0,03—0,06	0,04—0,07 (0,03—0,06)
⩽0,02	⩽0,02	⩽0,02	⩽0,02
⩽0,04	⩽0,04	⩽0,04	⩽0,04
⩽0,3	⩽0,22	⩽0,3	⩽0,35 (⩽0,3)
для всех выключателей			
0,12—0,16	0,12—0,16	0,12—0,16	0,12—0,16
—	0,07—0,11	—	—
—	0,10—0,13	—	—
0,11—0,16	0,10—0,16	—	—
0,05	0,05	0,05	0,05
0,8	0,4	0,8	1,0
0,3	—	—	0,3

Характеристика (данные на один полюс)	Норма	
	ВВН-110/800-4000	ВВН-110/2000-4000
Наибольшая скорость движения конца ножа, м/с, при		
включении	16—20	13—18
отключении	18—21	14—20
Скорость движения конца ножа отделителя в момент касания губок неподвижного контакта при включении, м/с	6—10	6—10
Наименьшее давление срабатывания, МПа (кгс/см²), при		
включении	1,27(13)	1,27(13)
отключении	1,27(13)	1,27(13)
Вжим подвижных контактов камеры, мм	10,5—14,5	13—17
За одно отключение через 30 с после окончания операции		
сброс давления, МПа (кгс/см²)	0,27—0,3 (2,8—3,1)	0,27—0,3 (2,8—3,1)
расход воздуха, л	1950—2150	1950—2150
За одно включение		
сброс давления, кПа (кгс/см²)	13,7(0,14)	13,7(0,14)
расход воздуха, л	100	100
Допустимые пределы изменения рабочего давления, МПа (кгс/см²)	1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)
Наименьшее давление воздуха, при котором разрешается АПВ, МПа (кгс/см²)	1,86(19)	1,86(19)
Зазоры, мм		
между бойками электромагнитов управления и штоками поршней пневматического моста	3—4	3—4
между штоками поршней пневматического моста и пусковыми клапанами	0,5—1	0,5—1

характеристики выключателя			
ВВ-4001-110/600	ВВ-4001У-110/800	ВВН-154/800-4000	ВВН-154/2000-6000 (ВВН-154/800-6000)
—	—	17—21	12—16 (17—21)
20—24	—	16—21	12—17 (16—21)
5—6	—	7—11	7—11
1,27(13)	0,98(10)	1,27(13)	1,27(13)
1,27(13)	0,98(10)	1,27(13)	1,27(13)
14—19	14—19	10,5—14,5	12—16
0,27—0,3 (2,8—3,1)	0,25—0,29 (2,5—3,0)	0,32—0,38 (3,3—3,9)	0,34—0,38 (3,5—3,9)
1950—2150	1550—2000	2290—2700	2450—2700
14,7(0,15)	13,7(0,14)	13,7(0,14)	13,7(0,14)
100	100	100	100
1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)
1,86(19)	1,86(19)	1,86(19)	1,96(20)
3—4	3—4	3—4	3—4
0,5—1	0,5—1	0,5—1	0,5—1

Таблица XII.11. **Нормы характеристик воздушных выключателей 220 кВ с ножевым отделителем**

Характеристика	Норма характеристики выключателя		
	ВВ-220	ВВН-220/1000-7000	ВВН-220/2000-7000
Собственное время отключения (от подачи команды до размыкания первого разомкнувшегося контакта гасительных камер), с	⩽0,06	⩽0,06	⩽0,06
Разновременность размыкания контактов гасительной камеры, с	⩽0,006	⩽0,006	⩽0,006
Бесконтактная пауза гасительной камеры (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта до первого вибрационного смыкания), с	0,2—0,3	0,2—0,28	0,2—0,28
Длительность вибрации контактов гасительной камеры (от первого вибрационного смыкания последнего сомкнувшегося контакта до прекращения вибрации), с	0,06	0,06	0,06
Время от подачи команды на отключение до выхода ножа из неподвижного контакта, с	0,12—0,17	0,12—0,18	0,12—0,18
Запаздывание размыкания ножа отделителя относительно размыкания контактов камеры, с	0,06—0,11	0,08—0,12	0,08—0,12
Разновременность смыкания контактов камеры (от первого вибрационного смыкания первого сомкнувшегося контакта до первого вибрационного смыкания последнего сомкнувшегося контакта), с	⩽0,03	⩽0,03	⩽0,03
Время включения (от подачи команды до момента смыкания контактов ножа отделителя), с	⩽0,45	⩽0,45	⩽0,45
Разновременность включения трех фаз, с	0,05	0,05	0,05

Характеристика	Норма характеристики выключателя		
	ВВ-220	ВВН-220/1000-7000	ВВН-220/2000-7000
Наименьшая бесконтактная пауза в цикле, с			
О—В с ножом	0,8	0,8	0,8
БАПВ	0,2—0,3	0,3	0,3
Наибольшая скорость, м/с, конца ножа при			
отключении	20—24	18—23	18—23
включении	18—22	13—17	13—17
Скорость движения конца ножа, м/с, в момент			
выхода из неподвижного контакта	6—10	7—10	8—10
касания неподвижного контакта при включении	—	6—10	6—10
Наименьшее давление срабатывания, МПа (кгс/см²)	1,27(13)	⩽1,47(15)	⩽1,47(15)
Вжим подвижных контактов камеры, мм	14—18	8—12	8—12
За одно включение			
сброс давления, кПа (кгс/см²)	17,6(0,18)	7,4(0,075)	7,4(0,075)
расход воздуха, л	200	300	300
За одно отключение через 30 с после операции	0,29—0,34	0,18—0,22	0,18—0,22
сброс давления, МПа (кгс/см²)	(3,0—3,5) [3,3—3,2]	(1,8—2,2)	(1,8—2,2)
расход воздуха, л	3700—4300	7200—8800	7200—8800
Допустимые пределы изменения рабочего давления, МПа (кгс/см²)	1,57—2,08 (16—21)	1,71—1,96 (17,5—20)	1,71—1,96 (17,5—20)
Наименьшее давление воздуха, при котором разрешается АПВ, МПа (кгс/см²)	1,86 (19)	1,96 (20)	1,96 (20)
Зазоры, мм			
между бойками электромагнитов управления и штоками поршней пневматического моста	4	4	4
между штоками поршней пневматического моста и пусковыми клапанами	0,5—1	0,5—1	0,5—1

Примечание. Данные в квадратных скобках относятся к выключателям с баками емкостью 1100 л.

Таблица XII.12. **Нормы характеристик воздушных выключателей 35—220 кВ с воздухонаполненным отделителем**

Характеристика	Норма характеристики выключателя			
	ВВН-35-2	ВВН-110-6	ВВН-154-8, / ВВН-220-10	ВВН-220-15
Собственное время отключения (от подачи импульса до размыкания первого разомкнувшегося контакта гасительной камеры), с	⩽0,06	⩽0,05	⩽0,06	⩽0,06
Разновременность размыкания контактов камеры, с	—	⩽0,004	⩽0,005	⩽0,007
Бесконтактная пауза камеры при отключении (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта до последнего вибрационного смыкания контактов), с	—	$0,12^{+0,04}_{-0,02}$	$0,12^{+0,04}_{-0,02}$	0,08—0,12
Разновременность смыкания контактов камеры (от первого вибрационного смыкания до прекращения вибрации), с	—	⩽0,04	⩽0,06	⩽0,08
Запаздывание размыкания отделителя (время от размыкания последнего разомкнувшегося контакта гасительной камеры до размыкания первого разомкнувшегося контакта отделителя), с	—	0,03—0,05	0,03—0,05	0,03—0,05
Разновременность размыкания контактов отделителя, с	—	⩽0,01	⩽0,015 / 0,02	⩽0,02
Время включения (от подачи команды на включение до первого вибрационного смыкания контактов отделителя или дугогасительных контактов (ВВН-35-2), с	⩽0,17	⩽0,15	⩽0,2	⩽0,25
Разновременность смыкания контактов отделителя (от первого вибрационного смыкания до прекращения вибрации контактов), с		⩽0,025	⩽0,04	⩽0,04

Характеристика	Норма характеристики выключателя			
	ВВН-35-2	ВВН-110-6	ВВН-154-8, ВВН-220-10	ВВН-220-15
Наименьшая бесконтактная пауза АПВ (от размыкания последнего разомкнувшегося контакта камеры до первого вибрационного смыкания контактов отделителя), с	0,16	0,3	0,3	0,3
Разновременность включения трех фаз, с	⩽0,04	⩽0,04	⩽0,04	⩽0,04
Снижение давления при отключении (через 30 с после операции), МПа (кгс/см²)				
одного полюса	0,1—0,12 (1—1,2)	0,27—0,28 (2,8—2,9)	0,27—0,28 (2,8—2,9)	0,27—0,28 (2,8—2,9)
трех полюсов	0,23—0,25 (2,3—2,5)	0,27—0,28 (2,8—2,9)	0,27—0,28 (2,8—2,9)	0,27—0,28 (2,8—2,9)
Наименьшее давление, при котором механизм отделителя (камеры ВВН-35-2) четко залипает при отключении, МПа (кгс/см²)	1,43(14,5)	1,37(14)	1,37(14)	1,37(14)
Давление, при котором первый контакт отделителя начинает двигаться на смыкание (давление отлипания), МПа (кгс/см²)	⩽0,88(9)	⩽0,98(10)	⩽0,98(10)	⩽0,98(10)
Давление, при котором смыкаются контакты отделителя (давление «самовключения»), МПа (кгс/см²)	⩽0,59(6)	0,49—0,69 (5—7)	0,49—0,69 (5—7)	0,49—0,69 (5—7)
Допустимые пределы изменения рабочего давления, МПа (кгс/см²)	1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)
Наименьшее давление воздуха, при котором разрешается АПВ, МПа (кгс/см²)	1,86(19)	1,86(19)	1,86(19)	1,86(19)
Вжим подвижных контактов отделителя, мм	—	10±2	10±2	10±2
Вжим подвижных контактов камеры, мм	15±1	12±3	12±3	12±3
Время от подачи команды до размыкания главных контактов, с	⩽0,055	—	—	—

Характеристика	Норма характеристики выключателя			
	ВВН-35-2	ВВН-110-6	ВВН-154-8, ВВН-220-10	ВВН-220-15
Время от подачи команды до замыкания главных контактов, с	⩽0,19	—	—	—
Наибольшее время вибрации главных контактов при включении, с	⩽0,05	—	—	—
Время от размыкания главных контактов до размыкания дугогасительных контактов, с	0,005—0,012	—	—	—
Время от замыкания дугогасительных контактов до замыкания главных контактов, с	0,001—0,025	—	—	—
Время от замыкания дугогасительных контактов до замыкания блок-контактами СБК цепей отключения в цикле В—О, с	0,02—0,04	—	—	—

Таблица XII.13. **Нормы характеристик воздушных выключателей серии ВВУ**

Характеристика	Норма характеристики выключателя		
	ВВУ-35	ВВУ-110	ВВБ-220У-15
Собственное время отключения (от подачи команды до размыкания контактов), с	$0{,}05 \pm 0{,}005$	$0{,}06 \pm 0{,}005$	$0{,}06^{+0{,}003}_{-0{,}001}$
Неодновременность размыкания контактов камер, с	—	⩽0,004	⩽0,004
Собственное время включения (от подачи команды до первого замыкания контактов камер), с	⩽0,15	⩽0,02	⩽0,22
Неодновременность смыкания контактов камер полюса, с	⩽0,002	⩽0,01	⩽0,005
Неодновременность размыкания вспомогательных контактов в диапазоне рабочего давления, с	—	⩽0,003	—
Запаздывание смыкания контактов верхней камеры относительно смыкания контактов нижней камеры, с	—	⩽0,01	—

Характеристика	Норма характеристики выключателя		
	ВВУ-35	ВВУ-110	ВВБ-220У-15
Наименьшее время бесконтактной паузы АПВ (от размыкания контактов до их замыкания при включении), с	⩽0,19	⩽0,23	⩽0,20
Длительность командного импульса при отключении, с	⩾0,03	⩾0,03	⩾0,04
Сброс давления при одном отключении полюса (через 30 с после окончания операции), МПа (кгс/см²)	$0{,}25^{+0{,}03}_{-0{,}01}$ $\left(2{,}5^{+0{,}3}_{-0{,}1}\right)$	0,27±0,02 (2,7±0,2)	$0{,}25^{+0{,}03}_{-0{,}01}$ $\left(2{,}5^{+0{,}3}_{-0{,}1}\right)$
Расход воздуха при одном отключении выключателя, л	⩽4000	⩽9000	⩽18000
Расход воздуха при выполнении выключателем одного цикла О—В—О, л	7400	15000	30000
Допустимые пределы изменения рабочего давления, МПа (кгс/см²)	1,57—2,08 (16—21)	1,67—2,08 (17—21)	1,57—2,08 (16—21)
Наименьшее давление воздуха, при котором разрешается АПВ, МПа (кгс/см²)	1,86(19)	1,96(20)	1,86(19)
Наименьшее давление срабатывания выключателя при отключении, МПа (кгс/см²)	1,37(14)	1,37(14)	1,37(14)
Зазор между бойками электромагнитов и штоками пускового клапана отключения (при поднятом до упора штоке) и включения	4±0,5	4±0,5	4±0,5
Емкость конденсатора, шунтирующего один разрыв камеры, пФ	—	1000±100	3300±330
Тангенс угла диэлектрических потерь эпоксидного ввода (до установки ввода в камере), %	0,6	0,6	0,6

Таблица XII.14. **Нормы характеристик воздушных выключателей**

Характеристика	Норма	
	ВВБ-110-6	ВВБ-110-31,5/2000
Собственное время отключения (от подачи команды до первого размыкания главных контактов), с	$0{,}055^{+0{,}005}_{-0{,}002}$	$0{,}05 \pm 0{,}005$
Неодновременность размыкания главных контактов верхней и нижней камер, с	—	—
Запаздывание первого размыкания вспомогательных (сопровождающих) контактов относительно последнего размыкания главных контактов, с	Для всех	
Неодновременность размыкания вспомогательных контактов, с	$\leqslant 0{,}002$	$\leqslant 0{,}003$
Собственное время включения (от подачи команды до последнего замыкания главных контактов), с	$\leqslant 0{,}15$	$\leqslant 0{,}15$
Неодновременность замыкания главных контактов при включении, с	—	—
Запаздывание включения вспомогательных контактов относительно главных, с	$\leqslant 0{,}008$	$\leqslant 0{,}008$
Время от последнего замыкания вспомогательных контактов при включении до первого размыкания главных контактов в циклах В—О и О—В—О, с	$\geqslant 0{,}01$	$\geqslant 0{,}01$
Наименьшее время бесконтактной паузы АПВ (от размыкания главных контактов до их замыкания при включении), с	$\leqslant 0{,}25$	$\leqslant 0{,}25$

110—220 кВ серий ВВБ и ВВД

характеристики выключателя

ВВБМ-110Б-31,5/2000	ВВБ-150Б-25/2000	ВВБ-150Б-31,5/2000	ВВБ-220-12	ВВД-220Б-40/2000ХЛ1
$0{,}05 \pm 0{,}005$	$0{,}045 \pm 0{,}005$	$0{,}042 \pm 0{,}005$	$0{,}006^{+0{,}003}_{-0{,}005}$	$0{,}06^{+0{,}003}_{-0{,}01}$
—	—	—	0,004	0,004
типов $0{,}032^{+0{,}008}_{-0{,}005}$				
$\leqslant 0{,}003$	$\leqslant 0{,}003$	$\leqslant 0{,}003$	$\leqslant 0{,}003$	$\leqslant 0{,}003$
$\leqslant 0{,}15$	$\leqslant 0{,}2$	$\leqslant 0{,}2$	$\leqslant 0{,}2$	0,24—0,01
—	—	—	$\leqslant 0{,}005$	$\leqslant 0{,}008$
$\leqslant 0{,}1$	$\leqslant 0{,}1$	$\leqslant 0{,}1$	$\leqslant 0{,}008$	$\leqslant 0{,}12$
$\geqslant 0{,}01$	$\geqslant 0{,}01$	$\geqslant 0{,}01$	$\geqslant 0{,}01$	$\geqslant 0{,}01$
$\leqslant 0{,}19$	$\leqslant 0{,}23$	$\leqslant 0{,}23$	$\leqslant 0{,}25$	$\leqslant 0{,}3$

Характеристика	Норма	
	ВВБ-110-6	ВВБ-110-31,5/2000
Длительность командного импульса при отключении, с	⩾0,04	⩾0,03
Сброс давления при одном отключении (через 30 с после окончания операции), МПа (кгс/см²)	0,27±0,02 (2,8±0,2)	0,22±0,02 (2,2±0,2)
Допустимые пределы изменения рабочего давления, МПа (кгс/см²)	1,57—2,08 (16—21)	1,72—2,08 (17,5—21)
Наименьшее давление, при котором разрешается АПВ, МПа (кгс/см²)	1,86(19)	1,86(19)
Зазор между бойками электромагнитов и штоками пусковых клапанов отключения (при поднятом до упора штоке) и включения, мм	4±0,5	4±0,5
Расход воздуха при одном отключении полюса, л	1500	1500
Расход воздуха при выполнении полюсом одного цикла О—В—О, л	2500	2800
Емкость конденсатора, шунтирующего один разрыв камеры, пФ	1000±100	1000±100
tg δ эпоксидного ввода при 10 кВ, % (до установки ввода в камере выключателя)	0,6	0,6

Примечание. Емкости конденсаторов, подлежащих установке на одном полюсе 150 кВ и на 100 пФ для выключателей 220 кВ.

характеристики выключателя				
ВВБМ-110Б-31,5/2000	ВВБ-150Б-25/2000	ВВБ-150Б-31,5/2000	ВВБ-220-12	ВВД-220Б-40/2000ХЛ1
⩾0,03	⩾0,03	⩾0,03	⩾0,03	⩾0,03
0,27±0,02 (2,8±0,2)	0,25±0,03 (2,6±0,3)	0,37±0,04 (3,8±0,4)	0,27±0,02 (2,8±0,2)	$0{,}43^{+0{,}03}_{-0{,}02}$ $\left(4{,}4^{+0{,}3}_{-0{,}2}\right)$
1,57—2,08 (16—21)	1,57—2,08 (16—21)	2,55—3,23 (26—33)	1,57—2,08 (16—21)	2,55—3,33 (26—34)
1,86(19)	1,86(19)	3,04(31)	1,86(19)	3,04(31)
4±0,5	4±0,5	4±0,5	4±0,5	4±0,5
1500	1500	2433	3000	4700
2500	2600	4333	5000	8300
1000±100	1000±100	1000±100	3300±330	2×3300±330
0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

выключателя, не должны различаться более чем на 50 пФ для выключателей 110→

Таблица XII.15. **Количество операций при испытаниях воздушных выключателей многократными опробованиями**

№ п/п	Операция или цикл	Давление при опробовании	Количество выполняемых операций и циклов
1	Включение и отключение	Минимальное срабатывания	3
2	То же	Минимальное рабочее	3
3	» »	Номинальное	3
4	» »	Максимальное рабочее	2
5	Цикл В—О	Минимальное срабатывания	2
6	То же	Минимальное рабочее	2
7	» »	Максимальное рабочее	2
8	Цикл О—В	Минимальное для АПВ	2
9	То же	Номинальное	2
10	Цикл О—В—О	Минимальное для АПВ	2
11	То же	Максимальное рабочее	2

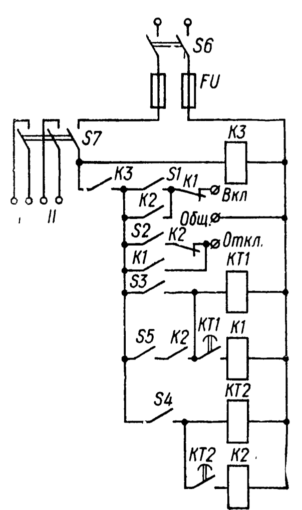


Рис. XII.32. Схема пульта управления для наладки воздушных выключателей:

I — выводы для запуска осциллографа; *II* — выводы для запуска вибрографа; *S1—S5* — однополюсные рубильники 10 А; *K1—K3* — промежуточные реле; *KT1*, *KT2* — реле времени; *S6* и *S7* — пакетные выключатели; *FU* — предохранители 15 А.

в табл. XII.15. При испытаниях по пп. 3, 6, 7, 9 должны сниматься осциллограммы работы выключателя. Для управления выключателем и осциллографом следует применять специальный пульт, схема которого приведена на рис. XII.32. В зависимости от операции или цикла предварительно должны быть включены следующие рубильники: при включении — *S1*; при отключении — *S2*; при цикле В—О—*S1*, *S3*; при цикле В—О с подачей отключающего импульса от СБК — *S1*, *S2*, *S3*; при цикле О—В — *S2*, *S4*; при цикле О—В—О—*S2*, *S4*, *S5*.

Испытания и опробования воздушных выключателей необходимо проводить с соблюдением общих и специальных мер по технике безопасности. Персонал, выполняющий наладочные работы, должен находиться при испытаниях в укрытии (будке, лаборатории и т. п.) не ближе чем в 15—20 м от крайней фазы. Доступ к выключателю, на котором ведется наладка, ограждают канатом в радиусе 50—60 м.

Глава XIII

ПОДСТАНЦИОННОЕ ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Выключатели нагрузки и предохранители на напряжение выше 1000 В

Согласно ПУЭ, объем приемосдаточных испытаний выключателей нагрузки (ГОСТ 17717 — 79 Е) при вводе их в эксплуатацию следующий.

1. Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и обмоток электромагнитов управления. Производится в соответствии с табл. III.4.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты: а) изоляции выключателя нагрузки. Значение испытательного напряжения принимается согласно табл. IX.4. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин; б) изоляции вторичных цепей и обмоток электромагнитов управления. Производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл. III.

3. Измерение сопротивления постоянному току: а) контактов выключателя. Измеряется сопротивление токоведущей системы полюса и каждой пары рабочих контактов. Значение сопротивления должно соответствовать заводским данным. Методика измерения приведена в гл. II; б) обмоток электромагнитов управления. Значение сопротивления должно соответствовать заводским данным.

4. Проверка действия механизма свободного расцепления (см. гл. XII).

5. Проверка срабатывания привода при пониженном напряжении. Методика и нормы испытаний приведены в гл. XII.

6. Испытание выключателя многократным включением и отключением. Методика испытаний приведена в гл. XII.

7. Испытание предохранителей.

Приемосдаточные испытания предохранителей на напряжение выше 1000 В (ГОСТ 2213—79 Е), согласно ПУЭ, проводятся в следующем объеме.

1. Испытание опорной изоляции предохранителей повышенным напряжением. Значения испытательных напряжений приведены в табл. IX.4. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

2. Определение целости плавких вставок и токоограничивающих сопротивлений. Плавкие вставки и токоограничивающие сопротивления должны быть калиброванными, не иметь обрывов и соответствовать проектным данным.

Разъединители, короткозамыкатели и отделители

Согласно ПУЭ, объем приемосдаточных испытаний вводимых в эксплуатацию полностью собранных и отрегулированных разъединителей (ГОСТ 689—69), короткозамыкателей и отделителей таков.

1. Измерение сопротивления изоляции поводков и тяг, выполненных из органических материалов. Измерение выполняется с помощью мегомметра на 2500 В. Сопротивление изоляции должно быть не ниже значений, нормированных для масляных выключателей (см. с. 366).

Измерение сопротивления изоляции многоэлементных изоляторов производится мегомметром 2500 В. Сопротивление должно быть не менее 300 МОм для каждого элемента штыревого изолятора.

Измерение сопротивления изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления выполняется в соответствии с табл. III.4.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Состоящую из одноэлементных опорных или опорно-стержневых изоляторов изоляцию испытывают повышенным напряжением (см. табл. IX.4). Изоляция, состоящая из многоэлементных изоляторов, испытывается по нормам испытаний подвесных и опорных изоляторов (см. ниже). Продолжительность приложения напряжения 1 мин. При наличии на одной стороне разъединителя рабочего напряжения допускается снижение испытательного напряжения на 20—30 %. Испытания повышенным напряжением опорно-стержневых изоляторов не обязательны.

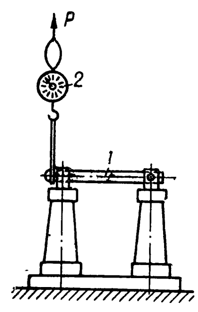


Рис. XIII.1. Схема определения усилия вытягивания ножа разъединителя:

1 — нож разъединителя; 2 — динамометр.

Испытание изоляции вторичных цепей и электромагнитов управления производится в соответствии с гл. III.

3. Измерение сопротивления постоянному току: а) контактной системы разъединителей и отделителей 110 кВ и выше. Измеренные значения должны соответствовать заводским нормам (табл XIII.1). «Нормами испытания электрооборудования» предусматривается измерение сопротивления постоянному току контактной системы разъединителей и отделителей всех классов напряжений; б) обмоток электромагнитов управления. Измеренные значения сопротивления должны соответствовать заводским нормам. Методика измерения сопротивления постоянному току приведена в гл. II.

4. Измерение вытягивающих усилий подвижных контактов из неподвижных. Согласно ПУЭ, производится у разъединителей и отделителей 35 кВ и выше. «Нормами испытаний электрооборудования» измерения предусмотрены для разъединителей и отделителей независимо от класса напряжения. Измеренные значения вытягивающих усилий при обезжиренном состоянии контактных поверхностей должны соответствовать заводским данным (табл. XIII.2). Кроме указанных в табл. XIII.2 значений для разъединителей наружной установки напряжением 35—220 кВ на номинальные токи 630—2000 А заводом-

Таблица XIII.1. **Предельные значения сопротивления постоянному току контактов разъединителей**

Тип разъединителя	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление мкОм
РЛН	35—220	600	220
Остальные типы	Все напряжения	600	175
		1000	120
		1500—2000	50

Таблица XIII.2. **Допустимые значения вытягивающих усилий подвижных контактов из неподвижных (для одного ножа) для разъединителей и отделителей**

Тип аппарата	Номинальный ток, А	Усилие, Н (кгс)	Тип аппарата	Номинальный ток, А	Усилие, Н (кгс)
Разъединители			РВ(З)-35	600	137—176 (14—18)
				1000	176—225 (18—23)
РВК-10	3000	490—540 (50—55)	РЛНД-110	600	157—176 (16—18)
	4000	490—540 (50—55)		1000	176—196 (18—20)
	5000	490—540 (50—55)			
			Отделители		
РВК-20	5000	490—540 (50—55)			
	6000	490—540 (50—55)	ОД-110М	600	157—176 (16—18)
	7000	830—850 (85—87)	ОД-150М	600	157—176 (16—18)
РВ(З)-20	400	118—157 (12—16)	ОД-220М	1000	176—196 (18—20)

изготовителем установлена общая норма вытягивающего усилия на пару ламелей 78,5—98 Н (8—10 кгс). Схема определения усилия вытягивания ножа разъединителя приведена на рис. XIII.1.

5. Проверка работы разъединителя, отделителя, короткозамыкателя. Работа аппаратов с ручным управлением проверяется выполнением 5—10 операций включения и отключения, а аппаратов с дистанционным управлением — выполнением 25 операций включения и отключения при номинальном напряжении и 5—10 операций включения и отключения при пониженном до 80 % номинального напряжения на зажимах электромагнитов (электродвигателей) управления.

6. Определение временных характеристик. Производится у короткозамыкателей при включении и у отделителей при отключении. Измерение может быть выполнено по схеме, приведенной на рис. XII.6, при этом для измерения полного времени отключения отделителя устанавливается временный контакт в точке, куда подходит нож отделителя при полном его отключении.

Измеренные значения должны соответствовать заводским данным (табл. XIII.3).

Таблица XIII.3. **Нормы временных характеристик отделителей и короткозамыкателей**

Тип аппарата	Норма полного времени, с	
	отключения	включения
ОД-35	Не более 0,5	—
ОД-110	0,7—0,9	—
ОД-110М	Не более 0,5	—
ОД-150	Не более 1,0	—
ОД-150М	Не более 0,7	—
ОД-220	Не более 1,0	—
ОД-220М	Не более 0,7	—
КЗ-35	—	Не более 0,4
КЗ-110	—	Не более 0,4
КЗ-110М	—	Не более 0,35
КЗ-220, КЗ-150	—	Не более 0,5
КЗ-220М, КЗ-150М	—	Не более 0,4

При проверке приводов отделителей и короткозамыкателей следует руководствоваться соответствующими рекомендациями, приведенными в гл. XII.

Перед началом испытаний проводится внешний осмотр, при котором проверяют, нет ли видимых повреждений фарфоровых изоляторов, состояние подвижных и неподвижных контактов, а также привода. Если в цепи короткозамыкателя есть трансформатор тока, то проверяют состояние заземляющей шинки или провода и отсутствие заземления ножа короткозамыкателя помимо трансформатора тока.

Комплектные распределительные устройства внутренней и наружной установок (КРУ, КРУН) напряжением выше 1000 В

В соответствующих разделах настоящего справочника приведены объемы, нормы и методики приемосдаточных испытаний оборудования КРУ и КРУН: масляных выключателей, выключателей нагрузки, силовых и измерительных трансформаторов, разрядников, предохранителей и др.

Кроме того, необходимо провести следующие испытания.

1. Измерение сопротивления изоляции: а) первичных цепей. Производится мегомметром 2500 В. Сопротивление изоляции полностью собранных первичных цепей КРУ (КРУН) с установленными в рабочем положении выдвижными элементами должно быть не менее 1000 МОм. При неудовлетворительных результатах испытаний измерение сопротивления изоляции производится поэлементно, при этом сопротивление каждого элемента должно быть не менее 1000 МОм; б) вторичных цепей. Производится мегомметром 500—1000 В. Значение сопротивления изоляции вторичных цепей каждого присоединения со всеми присоединенными аппаратами (реле, приборы, вторичные обмотки измерительных трансформаторов и т. п.) должно быть не менее 1 МОм.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты: а) изоляции первичных цепей ячеек. Значение испытательного напряжения принимается по табл. IX.4. Продолжительность приложения испытательного напряжения для фарфоровой изоляции 1 мин. Если изоляция ячеек содержит элементы из твердых органических материалов, продолжительность приложения испытательного напряжения 5 мин. Испытания следует проводить до подключения силовых кабелей. Все тележки устанавливают в рабочее положение, включают масляные выключатели (выключатели нагрузки). Силовые трансформаторы должны быть отключены и выкачены тележки с трансформаторами напряжения и вентильными разрядниками. Методика испытания приведена в гл. III; б) изоляции вторичных цепей. Проводится в соответствии с указаниями, изложенными в гл. III.

3. Измерение сопротивления постоянному току. Сопротивление болтовых и разъемных контактов не должно превышать следующих значений (если допустимые значения сопротивления втычных контактов первичной цепи не оговорены заводскими инструкциями):

Измеряемый элемент	Сопротивление
Контакты сборных шин	1,2 сопротивления шины той же длины без контакта
Разъединяющиеся контакты первичной цепи на 400 А	75 мкОм

600 А	60 мкОм
900 А	50 мкОм
1200 А	40 мкОм
2000 А	33 мкОм
Разъединяющиеся контакты вторичной (силовой) цепи	4000 мкОм

Измерения производятся выборочно (для разъединяющихся контактов первичных цепей, если позволяет конструкция КРУ (КРУН), а для разъединяющихся контактов вторичных цепей — только для контактов скользящего типа). Измерения производятся двойным мостом, микроомметром, амперметром и вольтметром. Методика измерений приведена в гл. II.

4. Механические испытания. Испытания проводятся в соответствии с инструкциями завода-изготовителя. К механическим испытаниям относятся: а) вкатывание и выкатывание выдвижных элементов с проверкой взаимного вхождения втычных контактов, а также работы шторок, блокировок, фиксаторов и т. п.; б) измерение контактного нажатия втычных контактов первичной цепи; в) проверка работы и состояния контактов заземляющего разъединителя.

Сборные и соединительные шины

Шины, в соответствии с ПУЭ, должны быть подвергнуты приемо-сдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции. Производится мегомметром 1000 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты: а) опорных одноэлементных изоляторов. Керамические одноэлементные опорные изоляторы внутренней и наружной установок испытываются в соответствии с табл. IX.4; б) опорных многоэлементных и подвесных изоляторов. Штыревые и подвесные изоляторы испытываются напряжением 50 кВ, прикладываемым к каждому элементу изолятора.

3. Проверка качества выполнения болтовых контактных соединений шин. Производится выборочная проверка качества затяжки контактов и вскрытие 2—3 % соединений.

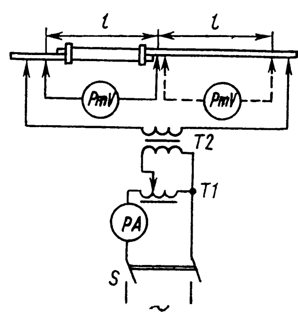


Рис. XIII.2. Схема проверки контактных соединений шин: *T1* — автотрансформатор; *T2* — нагрузочный трансформатор.

Оценку состояния контактных соединений шин осуществляют методом сравнения падения напряжения на участках одинаковых длины и сечения с контактным соединением и без него (рис. XIII.2). В качестве источника тока можно использовать нагрузочный или сварочный трансформатор. Падения напряжения на сравниваемых участках не должны различаться более чем на 20 % (при неизменном токе). Контактные соединения можно проверить непосредственным измерением сопротивления постоянному току участков с контактным соединением и без него (двойным мостом, микроомметром или амперметром и вольтметром). Методика этих измерений приведена в гл. II. Измерение переходного сопротивления контактов следует производить выборочно у сбор-

ных и соединительных шин на токи 1000 А и более на 2—3 % соединений.

4. Проверка качества выполнения опрессованных контактных соединений. Опрессованные контактные соединения бракуются, если: а) их геометрические размеры (длина и диаметр опрессованной части) не соответствуют требованиям действующих инструкций по монтажу соединительных зажимов; б) на поверхности соединителя или зажима имеются трещины, признаки значительной коррозии и механические повреждения; в) кривизна опрессованного соединителя превышает 3 % его длины; г) стальной сердечник опрессованного соединителя расположен несимметрично.

Следует произвести выборочные измерения переходного сопротивления 3—5 % опрессованных контактных соединений (см. выше). Значения падения напряжения или сопротивления на участке соединения не должны превышать соответствующих значений на участке той же длины без контактного соединения более чем в 1,2 раза.

5. Контроль сварных контактных соединений. Сварные контактные соединения проводов бракуются, если непосредственно после выполнения сварки будет обнаружено: а) пережог провода наружного повива или нарушение сварки при перегибе соединительных проводов; б) усадочную раковину в месте сварки глубиной более 1/3 диаметра провода.

Швы сварных соединений жестких шин не должны иметь трещин, прожогов, кратеров и непроваров длиной более 10 % длины шва при глубине более 15 % толщины свариваемого металла.

6. Испытание проходных изоляторов. Методика и нормы испытаний приведены ниже.

Шины на напряжение до 1000 В испытываются по пп. 1, 3—5; на напряжение выше 1000 В — по пп. 2—6.

Перед испытанием ошиновки проводится наружный осмотр, при котором проверяют целость изоляторов, надежность крепления шин на изоляторах, качество правки и отсутствие прогибов шин, окраску шин и наличие зачищенных мест для наложения переносных заземлений.

Сухие реакторы

Объем приемосдаточных испытаний сухих реакторов, согласно ПУЭ, следующий.

1. Измерение сопротивления изоляции обмоток относительно болтов крепления проводится с помощью мегомметра на напряжение 1000—2500 В. Сопротивление изоляции должно быть не менее 0,5 МОм.

2. Испытание опорной изоляции реактора повышенным напряжением промышленной частоты (значения испытательных напряжений см. в табл. IX.4). Продолжительность приложения напряжения 1 мин.

Испытанию подвергается опорная изоляция каждой из фаз по отношению к земле (при горизонтальной установке фаз) или нижней фазы по отношению к земле и всех фаз между собой (при вертикальной установке фаз).

Перед испытанием проводится внешний осмотр реактора: проверяется состояние лакового покрытия, отсутствие трещин и скосов бетонных колонок, деформации витков и замыкания их между собой, исправность изоляции витков, целость опорных изоляторов и надежность их крепления к бетонным колонкам.

При осмотре проверяют направление намотки витков средней фазы, которое должно быть противоположным направлению намотки крайних фаз.

Конденсаторы

ПУЭ предусматривает приемосдаточные испытания конденсаторов в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции с помощью мегомметра 2500 В. Сопротивление изоляции между выводами и относительно корпуса и отношение R_{60}/R_{15} не нормируются.

2. Измерение емкости. Производится при температуре $+5 \div 35$ °С. Отклонения измеренных значений емкости от паспортных не должны выходить за следующие пределы (в скобках приведены значения в соответствии с «Нормами испытания электрооборудования»):

Конденсатор	Допустимое отклонение, %
Косинусные конденсаторы на напряжения	
до 1050 В	±10 (—)
выше 1050 В (3,15 кВ и выше)	+10 (+5) —5
Конденсаторы продольной компенсации	(+5 —10)
Конденсаторы связи, конденсаторы отбора мощности и конденсаторы для делителей напряжения	(±5)

Для измерения емкости конденсатора используют мосты, микрофарадметр, амперметр и вольтметр и др. (см. гл. II). Измерение емкости конденсаторов, соединенных в треугольник, проводится в последовательности, приведенной в табл. XIII.4.

Таблица XIII.4. **Последовательность измерения емкости трехфазных конденсаторов**

Условный номер вывода трехфазного конденсатора	Замкнутые накоротко зажимы	Выводы, между которыми измеряют емкость	Обозначение измеренной емкости
1	2—3	1—2.3	$C_{1-2.3}$
2	1—2	3—1.2	$C_{3-1.2}$
3	1—3	2—1.3	$C_{2-1,3}$

Емкость каждой фазы определяется по формулам

$$C_{2.3} = \frac{C_{3-1.2} + C_{2-1.3} - C_{1-2.3}}{2},$$

$$C_{1.2} = \frac{C_{1-2.3} - C_{2-1.3} - C_{3-1.2}}{2},$$

$$C_{1.3} = \frac{C_{1-2.3} + C_{3-1.2} - C_{2-1.3}}{2}.$$

Полная емкость трехфазного конденсатора

$$C = C_{2.3} + C_{1.2} + C_{1.3}.$$

3. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь проводится для конденсаторов связи, конденсаторов отбора мощности и делительных конденсаторов. Измеренные значения tg δ для всех типов конден-

саторов при температуре +15 ÷ +35 °С не должны превышать 0,4 % (0,3 % по «Нормам испытания электрооборудования»).

Методика измерения тангенса угла диэлектрических потерь приведена в гл. III.

4. Испытание повышенным напряжением. Значения испытательных напряжений приведены в табл. XIII.5.

Таблица XIII.5. **Испытательные напряжения промышленной частоты конденсаторов для повышения коэффициента мощности**

Вид испытания	Рабочее напряжение конденсатора, кВ						
	0,22	0,38	0,5	0,66	3,15	6,3	10,5
Между обкладками	0,42	0,72	0,95	1,25	5,9	11,8	20
Относительно корпуса	2,1	2,1	2,1	5,1	5,1	15,3	21,3

Продолжительность приложения напряжения 1 мин. Изоляция силовых конденсаторов с одним выводом, соединенным с корпусом, не подвергается испытанию повышенным напряжением промышленной частоты относительно корпуса.

Если нет источника напряжения достаточной мощности, испытания напряжением переменного тока можно заменить испытаниями выпрямленным напряжением удвоенного значения.

Схемы испытания изоляции силовых конденсаторов повышенным напряжением промышленной частоты показаны на рис. XIII.3. Методика испытаний приведена в гл. III.

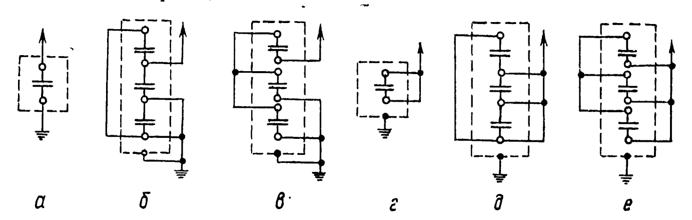


Рис. XIII.3. Схемы испытания изоляции силовых конденсаторов повышенным напряжением переменного тока:

а, б и *в* — между обкладками соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенных в треугольник и соединенных в звезду; *г, д* и *е* — относительно корпуса соответственно однофазного конденсатора, батареи конденсаторов, соединенных в треугольник и соединенных в звезду.

5. Испытание батареи силовых конденсаторов трехкратным включением на номинальное напряжение с контролем значения токов во всех фазах. Разница токов в фазах не должна превышать 5 %. Перед испытанием проверяют целость фарфора, убеждаются, что все болтовые соединения надежны, нет подтеков масла, вспучивания банок и т. п.

Конденсаторы для повышения коэффициента мощности на напряжение до 1000 В испытываются по пп. 1, 4, 5; на напряжение 1000 В и выше — по пп. 1, 2, 4, 5. Конденсаторы связи, отбора мощности и конденсаторы для делителей напряжения испытываются по пп. 1—4.

Объем и нормы испытаний конденсаторов, предусмотренные «Нормами испытания электрооборудования», распространяются не только на бумажно-масляные конденсаторы, но и на конденсаторы всех типов, предназначенные для отбора мощности, повышения коэффициента

мощности, продольной компенсации, связи и для делителей напряжения. В соответствии с «Нормами испытаний электрооборудования» испытание повышенным напряжением частоты 50 Гц конденсаторов связи, отбора мощности, конденсаторов для делителей напряжения, косинусных конденсаторов с номинальным напряжением ниже 3,15 кВ и изолирующих подставок конденсаторов не производится. Необходимость испытания повышенным напряжением остальных типов конденсаторов, значение испытательного напряжения и продолжительность его приложения определяются заводскими инструкциями.

Разрядники для защиты от атмосферных перенапряжений

Вентильные разрядники

Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию вентильные разрядники подвергают приемосдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления элемента разрядника, осуществляемое с помощью мегомметра на 2500 В. Значение сопротивления не нормируется. Измеренные значения сопоставляются с результатами измерений аналогичных элементов или с данными заводских измерений.

Согласно «Нормам испытания электрооборудования», измерение сопротивления разрядников на номинальное напряжение 3 кВ и выше производится мегомметром на напряжение 2500 В; разрядников на номинальное напряжение ниже 3 кВ — мегомметром на напряжение 1000 В. Сопротивление разрядника или элемента разрядника не должно отличаться более чем на 30 % от результатов измерения на заводе-изготовителе.

2. Измерение тока проводимости (тока утечки) (рис. XIII.4).

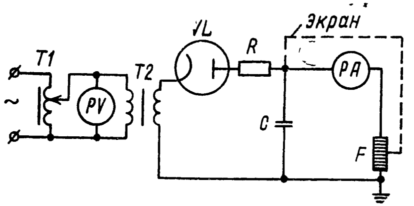


Рис. XIII.4. Схема измерения тока проводимости вентильного разрядника.

В качестве источника выпрямленного напряжения можно использовать испытательную установку типа АИИ-70. Емкость *C* необходима для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. В схемах однополупериодного выпрямления точность измерений токов проводимости приемлема, если значение емкости составляет: 0,2 мкФ для разрядников с номинальным напряжением 3—10 кВ и элементов разрядников серии РВМГ; 0,05 мкФ — для разрядников с номинальным напряжением 15—20 кВ и 0,03 мкФ — для разрядников с номинальным напряжением 30—35 кВ.

При измерениях токов утечки разрядников типа РВП (РВО) емкость должна быть порядка 0,001 мкФ. В схемах двухполупериодного выпрямления значения емкостей могут быть уменьшены вдвое.

Экранирующий проводник *Э* позволяет исключить из показаний микроамперметра токи утечки по поверхности изолятора.

Испытательное напряжение следует измерять на стороне высокого напряжения.

Предельные значения тока проводимости (утечки) элементов вентильных разрядников и прикладываемых при измерениях напряжений приведены в табл. XIII.6.

Таблица XIII.6. **Значения токов проводимости (утечки) и пробивных напряжений при частоте 50 Гц разрядников (элементов разрядников)**

Тип разрядника или элемента разрядника	Значение выпрямленного напряжения, приложенного к разрядникам, кВ	Значение тока проводимости при температуре разрядника +20 °С, мкА		Верхний предел тока утечки, мкА	Действующее значение пробивного напряжения при частоте 50 Гц, кВ	
		Не менее	Не более		Не менее	Не более
РВС-15	16	400	620	—	35	51
РВО-20	20	400	620	—	42	64
РВС-33	32	400	620	—	66	84
РВС-35 (выпуска после 1976 г.)	32	180	360	—	71	103
РВМ-3	4	380	450	—	7	10
РВМ-6	6	120	220	—	14	19
РВМ-10	10	200	280	—	24	32
РВМ-15	18	500	700	—	35	43
РВМ-20	24	500	700	—	47	56
РВМ-35	18	500	700	—	38 (элемент разрядника)	45 (элемент разрядника)
РВРД-3	3	50	120	—	7	10
РВРД-6	6	50	120	—	15	19
РВРД-10	10	50	120	—	24	32
РВРД-110 и элементы разрядника РВРД-220	86	550	650	—	145	175
РВО-3 (РВП-3)	4	—	—	6(10)	9	11
РВО-6 (РВП-6)	6	—	—	6(10)	16	19
РВО-10 (РВП-10)	10	—	—	6(10)	26	30,5
Элементы разрядников РВМГ-110, РВМГ-150, РВМГ-220	30	900	1300	—	59	73

Для разрядников других типов допустимые пределы тока проводимости (тока утечки) устанавливаются согласно заводским данным. Если измерения тока проводимости проводились при температуре окружающего воздуха, отличающейся от +20 °С, то в результат измерения следует вводить температурную поправку. Практически, по данным завода «Пролетарий», поправочный коэффициент для тока проводимости составляет 0,3 % на каждый градус изменения температуры. При температуре окружающей среды выше +20 °С поправка отрицательная, при температуре ниже +20 °С — положительная. Измерения следует проводить в сухую погоду при температуре не ниже 5 °С. Повышенное значение тока проводимости свидетельствует, как правило, о нарушении герметичности разрядника и проникновении внутрь его влаги. Пониженное значение тока проводимости показывает, что нарушен контакт или есть другие механические повреждения шунтирующих сопротивлений.

3. Измерение пробивного напряжения при промышленной частоте. Для разрядников типа РВП пользуются схемой, приведенной на

рис. XIII.5. Ограничивающее сопротивление R принимается не менее 10 кОм на 1 кВ испытательного напряжения.

Скорость повышения напряжения пробоя ограничена заводом в пределах 0,1—0,5 с при интервале перед повторным пробоем не менее 10 с. Измерять пробивное напряжение при промышленной частоте разрядников, имеющих шунтирующие сопротивления (РВС, РВВМ, РВМ и др.), можно только с помощью специальной испытательной установки по методике, указанной в заводской или специальной инструкции.

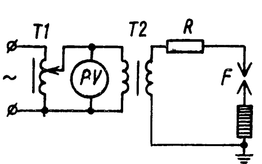


Рис. XIII.5. Схема измерения пробивного напряжения вентильного разрядника.

Допустимые значения пробивных напряжений искровых промежутков элементов вентильных разрядников при промышленной частоте приведены в табл. XIII.6.

Для остальных типов разрядников допустимые пределы пробивных напряжений устанавливаются согласно заводским данным.

Перед испытаниями вентильных разрядников проводят их внешний осмотр, проверяют, нет ли трещин на фарфоре, загрязнений, целы ли уплотнения.

Трубчатые разрядники

Трубчатые разрядники (ГОСТ 11475—80) перед вводом в эксплуатацию, согласно ПУЭ, подвергают приемосдаточным испытаниям в следующем объеме.

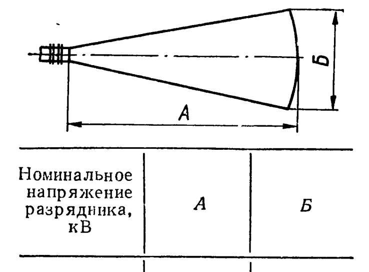
1. Проверка состояния поверхности разрядника. Производится перед установкой разрядника на опору. Наружная поверхность разрядника не должна иметь трещин, отслоений, ожогов электрической дугой.

2. Измерение внешнего искрового промежутка. Осуществляется на опоре после установки разрядника. Измеренное значение должно быть равным заданному.

3. Проверка расположения зон выхлопа. Проводится на опоре после установки разрядника. Зоны выхлопа разрядников не должны пересекаться и в них не должны находиться элементы конструкции и провода, имеющие отличный от открытого конца разрядника потенциал.

Ориентировочные размеры зоны выхлопа для разрядников типа РТВ на 6—35 кВ приведены в табл. XIII.7.

Таблица. XIII.7. **Ориентировочные размеры, м, зон выхлопа трубчатых разрядников типа РТВ 6—35 кВ**



Номинальное напряжение разрядника, кВ	А	Б
6	1,8	0,75
10	2,0	0,85
15	2,3	0,9
20	2,5	1,0
35	3,0	1,5

Вводы и проходные изоляторы

Вводы и проходные изоляторы перед началом эксплуатации необходимо подвергнуть, согласно ПУЭ, приемосдаточным испытаниям в следующем объеме.

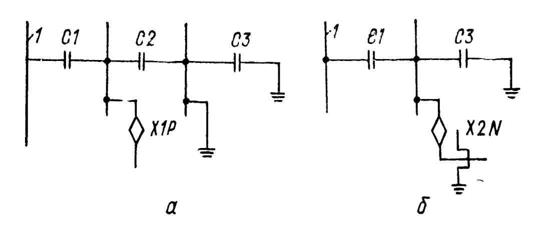


Рис. XIII.6. Емкостные схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов:

C1 — основная изоляция ввода; *C2* — изоляция измерительного конденсатора; *C3* — изоляция последней обкладки относительно соединительной втулки; *X1P* — вывод потенциометрического устройства; *X2N* — измерительный вывод; *1* — токоведущий стержень ввода.

1. Измерение сопротивления изоляции у вводов с бумажно-масляной изоляцией. Осуществляется с помощью мегомметра на 1000—2500 В. Измеряется сопротивление изоляции измерительной и последней обкладок вводов относительно соединительной втулки ввода. Значение сопротивления изоляции должно быть не менее 1000 МОм.

2. Определение тангенса угла диэлектрических потерь вводов и проходных изоляторов с внутренней основной маслобарьерной, бумажно-масляной и бакелитовой изоляцией. Тангенс угла диэлектрических потерь вводов и проходных изоляторов не должен превышать значений, указанных в табл. XIII.8.

Таблица XIII.8. **Предельные значения $\mathrm{tg}\,\delta$, %, вводов и проходных изоляторов**

Объект испытания и вид основной изоляции	Номинальное напряжение, кВ			
	3—15	20—35	60—110	150—220
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с маслобарьерной изоляцией	—	3	2	2
Маслонаполненные вводы и проходные изоляторы с бумажно-масляной изоляцией	—	—	1 (0,8)	0,8 (0,6)
Вводы и проходные изоляторы с бакелитовой изоляцией (в том числе маслонаполненные)	3	3	2	—

Примечание. В скобках приведены значения $\mathrm{tg}\,\delta$, предусмотренные «Нормами испытания электрооборудования».

У вводов и проходных изоляторов, имеющих вывод от потенциометрического устройства (ПИН), отдельно измеряют $\mathrm{tg}\,\delta$ основной изоляции и изоляции измерительного конденсатора. Допустимые значения $\mathrm{tg}\,\delta$ для изоляции измерительного конденсатора те же, что и для основной изоляции. При определении $\mathrm{tg}\,\delta$ вводов и проходных изоляторов одновременно измеряют емкость.

У вводов, имеющих измерительный вывод от обкладки последних слоев изоляции (для измерения $\mathrm{tg}\,\delta$), рекомендуется измерять $\mathrm{tg}\,\delta$ по-

Таблица XIII.9. **Схемы определения tg δ изоляции маслонаполненных вводов**

Емкостная схема замещения ввода	Измеряемый участок изоляции ввода	Мостовая схема	Присоединение точек мостовой измерительной схемы			Примечание
			A	*B*	*C*	
Рис. XIII.6, *а*	Основная емкость ввода *C1*	Перевернутая	Заземлена	К токоведущему стержню ввода	—	*X1P* заземлен. Применяется для определения tg δ вводов на выключателе
	То же	Нормальная	К токоведущему стержню ввода	К *X1P*	Заземлена	Применяется для определения tg δ вводов силовых трансформаторов (с учетом погрешности от *C2*)
	Изоляция измерительного конденсатора *C2*	Перевернутая	Заземлена	К *X1P*	К токоведущему стержню ввода	—
Рис.XIII.6, *б*	Основная емкость ввода *C1*	Нормальная	К токоведущему стержню ввода	К *X2N*	Заземлена	*X2N* разземлен
	Изоляция последней обкладки относительно соединительной втулки *C3*	Перевернутая	Заземлена	К *X2N*	К токоведущему стержню ввода	»

Таблица XIII.10. Предельные допустимые значения показателей каче

№ п/п	Показатели качества масла	Свежее
		ГОСТ 982-68 (ТКП)
1	Минимальное пробивное напряжение масла, кВ, определяемое в стандартном сосуде для трансформаторов, аппаратов и изоляторов с напряжением, кВ	
	до 15	30
	15—35	35
	60—220	45
2	Содержание механических примесей	Отсут
3	Содержание взвешенного угля	
	в трансформаторах	—
	в выключателях	—
4	Кислотное число, мг KOH в 1 кг масла	$\leqslant 0,02$
5	Содержание водорастворимых кислот и щелочей	От
6	Температура вспышки, °C	$\geqslant 135$
7	Температура застывания масла, °C, не выше	—45
8	Натровая проба, баллы	$\leqslant 1$
9	Прозрачность при +5 °C	Про
10	Общая стабильность против окисления	
	количество осадка после окисления, %	$\leqslant 0,01$
	кислотное число окисленного масла, мг KOH в 1 г масла	$\leqslant 0,1$
11	Вязкость кинематическая, 1×10^{-6} м²/с при	
	20 °C	—
	50 °C	$\leqslant 9$
12	Тангенс угла диэлектрических потерь, %, при	
	20 °C	$\leqslant 0,2$
	70 °C	$\leqslant 1,5$
	90 °C	$\leqslant 2,6$

Примечание. В знаменателе приведены нормы для масла по ГОСТ 10121-76

терь этой изоляции (при напряжении 3 кВ). Для оценки состояния последних слоев бумажно-масляной изоляции можно ориентироваться на средние опытные значения tg δ для вводов 110—150 кВ — 3 %, для вводов 220 кВ — 2 % (согласно «Нормам испытания электрооборудования» tg δ не должен превышать 1,2 % для вводов 110 кВ и 1 % для вводов 150—220 кВ).

Методика измерения tg δ приведена в гл. III.

Измерение tg δ вводов проводится до установки их на аппарат. При эксплуатационных испытаниях, а также в случаях необходимости и во время приемосдаточных испытаний tg δ находят для вводов, установленных на оборудовании. Емкостные схемы замещения изоляции маслонаполненных вводов приведены на рис. XIII.6. Схема испытательной установки для определения тангенса угла диэлектрических потерь приведена на рис. XIII.7. Схемы измерения tg δ для маслонаполненных вводов различного конструктивного исполнения приведены в табл. XIII.9. При определении tg δ трансформаторных маслобарьерных вводов, не имеющих вывода от последней заземленной обкладки, необходимо принять меры, исключающие влияние обмоток силового транс-

ства трансформаторного масла

сухое масло перед заливкой в оборудование		Непосредственно после заливки в оборудование		
ГОСТ 10121-76	ТУ 38-101-281-75	ГОСТ-982-68 (ТКП)	ГОСТ 10121-76	ТУ 38-101-281-75
30	30	25	25	25
35	35	30	30	30
45	45	40	40	40
ствие (определение визуальное)				
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02
сутствие				
≥150	≥135	≥135	≥150	≥135
—45	—50	—	—	—
≤1	—	≤1	≤1	—
зрачно				
Нет	≤0,01	—	—	—
≤0,1/0,25	≤0,1	—	—	—
≤28	≤30	—	—	—
≤9	≤9	—	—	—
≤0,2/—	—	≤0,3	≤0,3/—	—
≤2/—		≤2	≤2,5/—	
≤2,6/0,5	≤1	—	≤—/0,7	≤1,5

с государственным знаком качества.

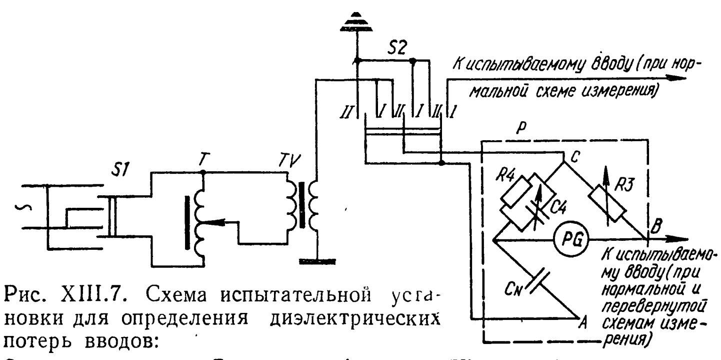


Рис. XIII.7. Схема испытательной установки для определения диэлектрических потерь вводов:

S1 — переключатель; *T* — автотрансформатор; *TV* — трансформатор напряжения; *S2* — переключатель схемы испытания; *P* — мост для измерения угла диэлектрических потерь; *I* — нормальная схема; *II* — перевернутая схема.

форматора на результаты измерений. Для этого в большинстве случаев достаточно временно изолировать соединительную втулку ввода от бака трансформатора.

3. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Значения испытательных напряжений проходных изоляторов и вводов, испытываемых отдельно и совместно с аппаратом, приведены в табл. IX.4. Вводы, установленные на трансформаторах, испытываются совместно с обмотками последних по нормам, принятым для трансформаторов. Продолжительность приложения испытательного напряжения для вводов, испытываемых отдельно или установленных на аппарате, составляет 1 мин, если основная изоляция керамическая, жидкая или бумажно-масляная, и 5 мин, если основная изоляция состоит из органических твердых материалов или кабельных масс. Продолжительность приложения испытательного напряжения для вводов, испытываемых совместно с обмотками трансформаторов, составляет 1 мин.

Методика испытаний повышенным напряжением приведена в гл. III.

4. Проверка качества уплотнения вводов. Производится для негерметичных маслонаполненных вводов 110 кВ и выше с бумажно-масляной изоляцией путем создания в них избыточного давления масла 98 кПа (1 кгс/см^2). Продолжительность испытания 30 мин. При испытании не должно наблюдаться течи масла.

5. Испытание трансформаторного масла из маслонаполненных вводов. Вновь заливаемое масло должно удовлетворять требованиям, приведенным в табл. XIII.10. После монтажа проводится сокращенный анализ масла по пп. 1—6 табл. XIII.10, а у вводов с повышенным значением тангенса угла диэлектрических потерь и вводов напряжением 220 кВ — еще и испытания по п. 12 табл. XIII.10.

Значения показателей масла должны быть не хуже приведенных в табл. XIII.10, а значения tg δ — не более приведенных в табл. XIII.11.

Таблица XIII. 11. **Наибольшие допустимые значения tg δ масла в маслонаполненных вводах 110—220 кВ при температуре +70 °С**

Ввод	tg δ, %	
	Масло марки Т-750	Масла прочих марок
Маслобарьерный	—	7
Бумажно-масляный негерметичный	5	7
Бумажно-масляный герметичный	5	7

Испытаниям вводов и проходных изоляторов предшествует наружный осмотр, при котором проверяют состояние и целость фарфора, состояние мастики во вводах, уровень масла, состояние уплотнений, отсутствие течи масла, наличие и исправность необходимой арматуры, состояние выводов потенциометрического устройства и устройства для измерений и т. п.

Подвесные и опорные фарфоровые изоляторы

Подвесные и опорные фарфоровые изоляторы, согласно ПУЭ, подвергаются приемосдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции подвесных и многоэлементных изоляторов мегомметром на 2500 В. Сопротивление изоляции каждого подвесного изолятора или каждого элемента штыревого изолятора должно быть не менее 300 МОм.

Проводить измерения следует при положительных температурах, сухой и чистой поверхности изоляторов.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Значения испытательных напряжений одноэлементных опорных изоляторов внутренней и наружной установки приведены в табл. IX.4.

Многоэлементные опорные и подвесные изоляторы испытывают напряжением промышленной частоты 50 кВ, прикладываемым к каждому элементу изолятора. Длительность воздействия испытательным напряжением 1 мин. Схема испытания повышенным напряжением подвесных и опорных многоэлементных изоляторов приведена на рис. XIII.8. Необходимо, чтобы в местах подвода испытательного напряжения к элементам изолятора был хороший контакт, что достигается наложением бандажей из голого гибкого провода. Для ускорения испытания изоляторов используются специальные пружинящие захваты, накладываемые на элементы испытываемых изоляторов. Пробой изоляции элементов изолятора может быть отмечен по отклонению стрелки амперметра.

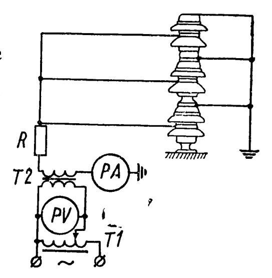


Рис. XIII.8. Схема испытания многоэлементных изоляторов повышенным напряжением промышленной частоты.

Для опорно-стержневых изоляторов испытания не обязательны. Электрические испытания стеклянных подвесных изоляторов не проводятся. Контроль их состояния осуществляется путем внешнего осмотра.

Перед испытаниями изоляторы подвергают наружному осмотру, при котором проверяют целость фарфора и металлической арматуры, надежность армировки металлических деталей изоляторов, параллельность колпачка и фланца у опорных изоляторов и т. п.

Трансформаторное масло

Свежее трансформаторное масло перед заливкой в оборудование должно пройти испытания по всем показателям, приведенным в табл. XIII.10, кроме п. 3. Значения показателей, полученные при испытаниях, должны быть не хуже приведенных в табл. XIII.10. Масла́, изготовленные по техническим условиям, не указанным в табл. XIII.10, должны быть подвергнуты испытаниям по тем же показателям, но нормы испытаний следует принимать в соответствии с техническими условиями на эти масла.

Масло, отбираемое из аппаратов перед их включением после монтажа, подвергают сокращенному анализу в объеме, предусмотренном пп. 1 — 6 табл. XIII.10, а для оборудования 110 кВ и выше — также по п. 10 табл. XIII.10.

Для определения пробивного напряжения трансформаторного масла обычно используют аппараты АМИ-60 или АИИ-70 (см. гл. IV). Аппарат имеет фарфоровый сосуд, в который заливают 0,5 л подлежащего испытанию масла. В сосуде укреплены два латунных электрода диаметром 25 мм; расстояние между электродами, т. е. толщина слоя масла между ними, должно быть 2,5 мм (расстояние от электрода до дна и стенок сосуда, в котором проводят испытание, должно быть не меньше 15 мм).

Пробивное напряжение трансформаторного масла определяют следующим образом.

Перед испытанием банку или бутылку с пробой масла несколько раз медленно переворачивают вверх дном, добиваясь, чтобы в масле не было пузырьков воздуха.

Таблица XIII. 12. **Минимально допустимые значения сопротивления изоляции аккумуляторных батарей**

Номинальное напряжение аккумуляторной батареи, В	Сопротивление изоляции, кОм	
	ПУЭ	«Нормы испытания электрооборудования»
24	14	60
48	25	60
60	—	60
110	50	60
220	100	150

Фарфоровый сосуд, в котором испытывают масло, вместе с электродами три раза ополаскивают маслом из пробы. При третьем ополаскивании масло льют на электроды, так как поверхность их после испытаний покрыта подгорелыми частицами масла. После каждого ополаскивания масло полностью сливают. Масло льют на стенки сосуда тонкой струей, чтобы не образовались воздушные пузырьки.

Уровень залитого масла в сосуде должен быть на 15 мм выше верхнего края электрода. Залитому в сосуд маслу дают отстояться в течение 10 мин, чтобы из него вышли пузырьки воздуха. Затем напряжение на электродах плавно повышают со скоростью 1—2 кВ/с до пробоя, который отмечается искрой между электродами и спаданием стрелки вольтметра до нуля. После пробоя масла напряжение снижают до нуля и вновь увеличивают до следующего пробоя (всего шесть пробоев) с интервалами между ними 5—10 мин. После каждого пробоя из промежутка между электродами стеклянным или металлическим чистым стержнем удаляют обуглероженные частицы масла. Затем жидкости дают отстояться в течение 10 мин.

Напряжение, при котором происходит первый пробой, во внимание не принимают. Пробивное напряжение определяют как среднее арифметическое пяти значений напряжений.

При заливке в оборудование свежих кондиционных масел разных марок смесь должна проверяться на стабильность в пропорциях смешения. Стабильность смеси должна быть не хуже стабильности одного из смешиваемых масел, обладающего наименьшей стабильностью.

Аккумуляторные батареи

Законченные монтажом аккумуляторные батареи должны быть подвергнуты испытаниям, согласно ПУЭ, в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции. Измерение производится вольтметром. Сопротивление изоляции определяется по формуле III.1 и должно быть не менее значений, указанных в табл. XIII.12.

2. Проверка емкости отформованной аккумуляторной батареи. Полностью заряженные аккумуляторы разряжают током 3- или 10-часового режима. Напряжение в конце разряда должно быть для аккумуляторов типа С (СК) не ниже 1,8 В, для аккумуляторов типа СП (СПК) с панцирными пластинками — не ниже 1,75 В при 3-часовом режиме разряда и 1,8 В — при 10-часовом режиме. Во время разряда ежечасно измеряются напряжение на зажимах каждого элемента и всей батареи, разрядный ток, плотность электролита в элементах, температура электролита в контрольных элементах. Определяемую по результатам разряда емкость приводят к температуре 25 °С по формуле

$$C_{25} = \frac{C_t}{1 + 0,008\,(t - 25)},$$

где t — средняя температура электролита при разряде, °С; C_t — емкость, определяемая по результатам разряда, А · ч; C_{25}— емкость, приведенная к температуре 25 °С, А ·ч; 0,008 — температурный коэффициент.

Емкость аккумуляторной батареи, приведенная к температуре 25 °С, должна соответствовать заводским данным.

3. Проверка плотности и температуры электролита. Плотность и температура электролита каждого элемента в конце заряда и в конце разряда должны соответствовать заводским данным. Плотность электролита в конце заряда (г/см^3), приведенная к температуре 20 °С, должна составлять с допустимым отклонением ± 0,005 г/см^3: для аккумуляторов типа С (СК) — 1,205, для аккумуляторов типа СП (СПК) — 1,24 и для аккумуляторов типа СН — 1,22. Температура электролита при заряде не должна превышать 40 °С, а для аккумуляторов типа СН — 45 °С. Плотность электролита в конце разряда у исправных аккумуляторов С (СК) должна быть не менее 1,145 г/см^3.

4. Химический анализ электролита. Электролит для заливки кислотных аккумуляторных батарей должен готовиться из серной кислоты (ГОСТ 667—73) и дистиллированной воды (ГОСТ 6709—72).

5. Измерение напряжения на элементах. Напряжение отстающих элементов в конце разряда не должно отличаться более чем на 1—1,5 % от среднего напряжения остальных элементов, а количество отстающих элементов должно быть не более 5 % их общего количества в батарее.

Глава XIV

КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Объем, нормы и методы испытаний

Вводимые в эксплуатацию силовые кабельные линии напряжением до 35 кВ, согласно ПУЭ, подвергают испытаниям в следующем объеме.

1. Проверка целости жил и фазировка. Целость жил и соответствие фаз кабеля проверяют прозвонкой (с помощью телефонных трубок, мегомметра и т. п.). При параллельно включенных (под одни зажимы) кабелях правильность их включения проверяют до подачи напряжения. Убеждаются в том, что нет коротких замыканий между фазами, что подключение кабелей к ошиновке выполнено в соответствии с маркировкой или расцветкой шин. Перед включением кабельной линии в эксплуатацию производится фазировка ее под напряжением. Для этого к одному концу на кабель подается напряжение, а на другом конце проводится фазировка методами, рассмотренными в гл. IX.

2. Измерение сопротивления изоляции. Производится мегомметром на 2500 В до и после испытания кабеля повышенным напряжением. Для силовых кабелей напряжением до 1000 В значение сопротивления изоляции должно быть не менее 0,5 МОм. Для силовых кабелей напряжением выше 1000 В значение сопротивления изоляции не нормируется.

У трехжильных кабелей испытанию подвергается изоляция каждой жилы относительно металлической оболочки и других заземленных жил. У кабелей однофазных или с отдельно освинцованными жилами испытывается изоляция жилы относительно металлической оболочки.

3. Испытание повышенным выпрямленным напряжением. Значения испытательных напряжений и длительность приложения испытательного напряжения приведены в табл. XIV.1.

Таблица XIV. 1. **Испытательные выпрямленные напряжения для силовых кабелей**

Тип кабеля	Испытательные напряжения, кВ, для кабелей на рабочее напряжение, кВ						Продолжительность приложения испытательного напряжения, мин
	2	3	6	10	20	35	
Кабели с бумажной изоляцией	12	18	36	60	100	175	10
Кабели с резиновой изоляцией	—	6	12	—	—	—	5
Кабели с пластмассовой изоляцией	—	15	—	—	—	—	10

При проведении испытаний необходимо обращать внимание на характер изменения тока утечки. Абсолютное значение тока утечки не является браковочным показателем. Как показывает опыт эксплуатации, при удовлетворительном состоянии изоляции значения тока утечки для кабелей с бумажной изоляцией на напряжение до 10 кВ не превышают 3000 мкА, на напряжение 20—35 кВ — 800 мкА. Для коротких кабельных линий (длиной до 100 м) на напряжение 3—10 кВ без соединительных муфт допустимые токи утечки не должны превышать 2—3 мкА на 1 кВ испытательного напряжения. Асимметрия токов утечки по фазам не должна превышать 8—10 при условии, что абсолютные значения токов утечки не превышают допустимых значений.

Кабель считается выдержавшим испытание, если не произошло пробоя, не было скользящих разрядов и толчков тока утечки или его нарастания после того как он достиг установившегося значения.

Методика испытаний повышенным выпрямленным напряжением приведена в гл. III, аппаратура, используемая при испытаниях, описана в гл. IV.

4. Определение активного сопротивления жил кабеля. Производится для кабелей напряжением 35 кВ. Активное сопротивление жил кабельной линии постоянному току, приведенное к удельному значению (на 1 мм^2 сечения, 1 м длины, при температуре +20 °С), согласно ГОСТ 18410—73, должно быть не более 0,01793 Ом для медной и не более 0,02940 Ом для алюминиевой жил.

5. Определение электрической рабочей емкости жил кабелей. Производится для линий 35 кВ. Измеренная емкость, приведенная к удельным значениям, не должна отличаться от результатов заводских испытаний более чем на 5 %.

6. Измерение токораспределения по одножильным кабелям. Неравномерность в распределении токов по кабелям не должна быть более 10 %.

7. Проверка защиты от блуждающих токов. Производится проверка действия установленных антикоррозионных защит.

8. Измерение сопротивления заземления концевых заделок. Производится по методике, изложенной в гл. XV.

Перед испытанием кабельных линий проводят внешний осмотр: проверяют правильность прокладки и монтажа кабелей, состояние концевых разделок (концевые разделки должны быть чистыми, не иметь следов подтека заливочной массы, трещин и вспучивания последней, сколов изоляторов и т. п.), достаточность изоляционных расстояний между жилами кабеля и заземленными элементами, надежность заземления концевых воронок, металлической оболочки и брони кабеля.

Определение мест повреждения и трасс кабельных линий

Методы определения места повреждения силовых кабельных линий могут быть разделены на две группы: относительные методы, позволяющие определить расстояние от места измерения до места повреждения, и абсолютные методы, позволяющие указать место повреждения на трассе. Обычно для быстрого определения места повреждения используется один из относительных методов, а затем с помощью абсолютного метода уточняется место на трассе. Из относительных методов наиболее распространены импульсный, петлевой, колебательного разряда, емкостный; из абсолютных методов — индукционный и аку-

Таблица XIV. 2. **Рекомендуемые методы определения места повреждения кабеля**

Вид повреждения кабеля	Пробивное напряжение в месте повреждения, кВ	Переходное сопротивление в месте повреждения, Ом	Метод определения зоны повреждения	Метод точного определения места повреждения на трассе кабельной линии
Замыкание жилы на оболочку	0—25	0—40	Импульсный, петлевой	Метод измерения потенциалов, метод накладной рамки
		40—200	Импульсный, колебательного разряда, петлевой	Акустический, метод измерения потенциалов
		200—300	Колебательного разряда, петлевой	Акустический
Замыкание двух или трех жил между собой (и на землю) в одном месте	0—25	0—40	Импульсный, петлевой (при наличии неповрежденной жилы)	Индукционный
		40—200	Импульсный, колебательного разряда	Акустический
		200—3000	Колебательного разряда	»
Обрыв токоведущих жил без заземления	До испытательного	$\geqslant 10^6$	Импульсный, колебательного разряда, емкостный	»
Обрыв токоведущих жил с замыканием на землю	0—10	0—200 с дожиганием до двухфазного к. з.	Импульсный	Индукционный
		$\geqslant 200$	Колебательного разряда	Акустический
Заплывающий пробой	От 8 до испытательного	$\geqslant 10^7$	То же	»

стический. В табл. XIV.2 даны рекомендуемые методы определения места повреждения кабеля в зависимости от характера повреждения.

Большинство этих методов применяется после прожигания поврежденного места кабельной линии для снижения переходного сопротивления.

Прожигание

Прожигание, как правило, целесообразно вести ступенями, изменяя источники питания по мере снижения напряжения пробоя и сопротивления в месте повреждения. Прожигание можно производить

как переменным, так и постоянным током. Для прожигания используются выпрямительные установки, генераторы звуковой частоты, испытательные трансформаторы, резонансные аппараты, сварочные и силовые трансформаторы и др. Существует большое количество различных прожигательных установок. Ниже приводится описание одной из передвижных установок Мосэнерго (рис. XIV.1).

Установка состоит из следующих основных элементов: 1) выпрямителя ВП-60 для испытания и предварительного прожигания изоляции в месте повреждения кабельной линии; 2) выпрямителя ВП-10/5 для прожигания изоляции до малых переходных сопротивлений; 3) генератора звуковой частоты АТО-8 с согласующим трансформатором для индукционного метода определения места повреждения и окончательного дожигания места повреждения.

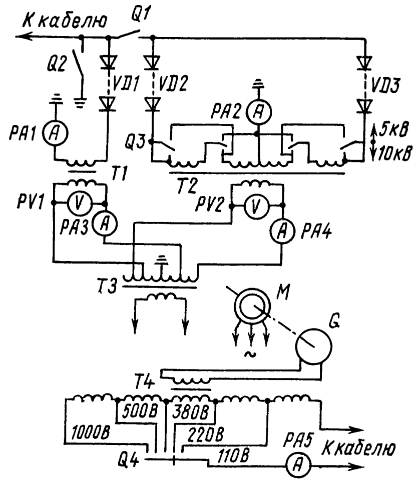


Рис. XIV.1. Принципиальная схема прожигательной установки МКС Мосэнерго:

Q1 — рубильник однополюсный на 5 А; *Q2* — заземляющий нож; *PA5* — амперметр на 80 А; *T1* — трансформатор выпрямителя ВП-60, 0,22/42,5 кВ, 6 кВ·А; *VD1* — выпрямитель ВП-60; *VD2*, *VD3* — выпрямитель ВП-10/5; *T2* — трансформатор выпрямителя ВП-5/10, 7 кВ·А; *T4* — согласующий трансформатор 8 кВ·А; 1000/500/380/ /220/110 В; *Q4* — переключатель; *Q3* — переключатель выпрямителя ВП-10/5; *G* — генератор звуковой частоты АТО-8; *T3* — регулировочный трансформатор 250 В, 7 кВ·А.

Прожигание изоляции в месте повреждения кабеля начинают выпрямителем ВП-60 и проводят в режиме допустимого тока установки (75 мА) до снижения напряжения прожигания до 15 кВ, после чего подключают рубильником *Q1* выпрямитель ВП-10/5 и ведут прожигание обоими параллельно включенными выпрямителями. Когда напряжение пробоя снизится до 10 кВ и ток выпрямителя ВП-10/5 достигнет 1 А, выпрямитель ВП-60 отключают. При снижении напряжения пробоя до 5 кВ обмотки трансформатора выпрямителя ВП-10/5 переключают с последовательного на параллельное соединение переключателем *Q3*, встроенным в корпус трансформатора, и ведут прожигание током 3 А. Достаточность прожигания проверяют включением заземляющего рубильника *Q2*. Если при этом показания амперметра выпрямителя ВП-10/5 почти не изменяются, то это означает, что переходное сопротивление в месте повреждения достаточно мало. При необходимости дальнейшего снижения сопротивления включается третья ступень прожигания генератором звуковой частоты.

Параметры выпрямителей ВП-60 и ВП-10/5 приведены в табл. XIV.3.

В зависимости от места повреждения на кабеле процесс прожигания протекает различно.

Повреждение в целом месте. Процесс прожигания идет спокойно, через 5—10 мин сопротивление резко снижается до нескольких десятков ом (при очень жирной пропитке кабеля прожигание длится дольше).

Таблица XIV. 3. **Параметры полупроводниковых выпрямителей ВП-60 и ВП-10/5**

Характеристика выпрямителя	Тип выпрямителя и диодов			
	ВП-60		ВП-10/5	
	Д-1007	Д-1008	Д-233Б	Д-234Б
Номинальное выпрямленное напряжение, кВ	60	60	10	10
Среднее значение выпрямленного тока, мА	75	50	$3 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$
Расчетное максимальное напряжение выпрямителя, кВ	68	70	10,5	10,8
Амплитуда обратного напряжения (расчетная), кВ	136	140	20	20
Число диодов	17	14	42	36
Шунтирующий резистор мощностью 2 Вт, кОм	—	—	51	62
Шунтирующий конденсатор ПОВ, 15 кВ, пФ	390	390	—	—

Повреждение в воде или мокром грунте. Процесс прожигания идет спокойно. Сопротивление изоляции снижается только до 2000 Ом, дальнейшее прожигание никаких изменений не дает.

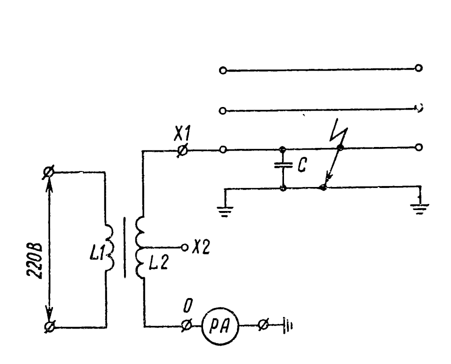


Рис. XIV.2. Схема прожигания поврежденной жилы кабеля резонансным трансформатором.

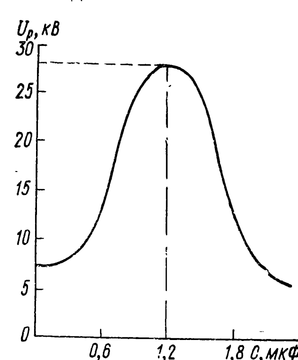


Рис. XIV.3. Зависимость напряжения резонансного контура от емкости C.

Повреждение в муфтах. Прожигание длится дольше обычного. Сопротивление колеблется в широких пределах, так как под действием дуги заливочная масса в муфте расплавляется и заливает место пробоя изоляции, увеличивая ее сопротивление. Колебания сопротивления изоляции иногда могут продолжаться 1—2 ч. Если в течение этого времени сопротивление не снизится, прожигание следует прекратить, зону повреждения кабельной линии измерить методом колебательного разряда, а потом уточнить место повреждения на трассе акустическим методом.

В остальных случаях прожигание заканчивают тогда, когда пере-

ходное сопротивление в месте повреждения снизится до значения, требуемого применяемым методом измерений.

Для прожигания дефектной изоляции на переменном токе с целью снижения мощности испытательной установки используются резонансные трансформаторы, обеспечивающие эффективное прожигание места повреждения кабеля, имеющего напряжение пробоя 10—14 кВ. При включении резонансного трансформатора параллельно поврежденной жиле кабеля (рис. XIV.2) создается резонансный контур, состоящий из емкости — жилы кабеля *C* и катушки индуктивности *L2*. Напряжение на резонансном контуре *L2*—*C* можно регулировать изменением числа витков (отпайками) катушки *L2*, а также значением емкости *C*. Зависимость выходного напряжения от подключенной емкости приведена на рис. XIV.3. Если емкость одной жилы прожигаемого кабеля недостаточна для получения необходимого напряжения, параллельно с поврежденной жилой кабеля могут быть включены две другие жилы. Ток в катушке *L1* при прожигании места повреждения достигает 30—70 А. Процесс прожигания идет автоматически, режим контролируется по амперметру. После того как трансформатор начнет работать в режиме короткого замыкания (показания амперметра 1—2 А не изменяются), поврежденную жилу кабеля включают в сеть последовательно с катушкой *L1* для снижения переходного сопротивления в месте повреждения. Работа с резонансным аппаратом требует строгого выполнения всех необходимых мер по технике безопасности. В процессе прожигания необходимо следить за нагревом аппарата.

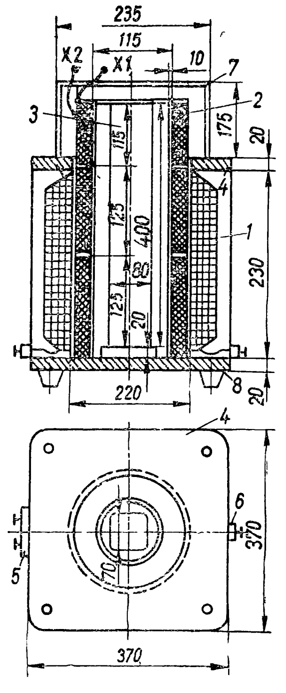


Рис. XIV.4. Общий вид резонансного трансформатора типа РА-2:

1 — катушка *L1*; *2* — катушка *L2*; *3* — сердечник; *4* — каркас; *5* — выводы 220—380 В; *6* — вывод заземления; *7* — крышка; *8* — дно.

Общий вид одной из конструкций резонансного трансформатора приведен на рис. XIV.4. Трансформатор состоит из двух катушек, сердечника и корпуса. Обмотка низкого напряжения намотана на бакелитовый каркас размером 230 × 220 × × 90 мм и содержит 320 витков из провода ПДС сечением 16 мм^2; между слоями намотки есть воздушный зазор 3 мм (с помощью деревянных клиньев). Обмотка высшего напряжения намотана на бакелитовом каркасе размером 125 × 115 × × 430 мм, содержит 10 000 витков из провода ПЭВ диаметром 0,86 мм и состоит из трех последовательно соединенных катушек. Верхняя и средняя катушки содержат по 3200 витков с выводом *X1* от начала обмотки верхней катушки. Нижняя катушка содержит 3600 витков с выводом *X2* от начала обмотки. Сердечник набран из трансформаторной стали 70 × 80 × 400 мм, а каркас — из немагнитного сплава на основе алюминия. Крышка и дно каркаса изготовлены из текстолита. Небольшие размеры и масса делают трансформатор удобным для транспортировки, а простота конструкции дает возможность изготовить его силами пусконаладочных и эксплуатирующих организаций.

Методы определения места повреждения кабеля

Индукционный метод

Индукционный метод основан на принципе улавливания магнитного поля над кабелем, по которому пропускается ток звуковой частоты. Применяют этот метод во всех случаях, когда между жилами кабеля в месте повреждения удается получить малое переходное сопротивление.

При использовании индукционного метода по кабелю пропускают ток от генератора звуковой частоты (800—1200 Гц). Вокруг кабеля образуется магнитное поле, значение которого пропорционально значению тока в кабеле. На поверхности земли над кабелем с помощью приемной рамки усилителя и телефона можно прослушать звучание, которое распространяется по пути прохождения тока по кабелю.

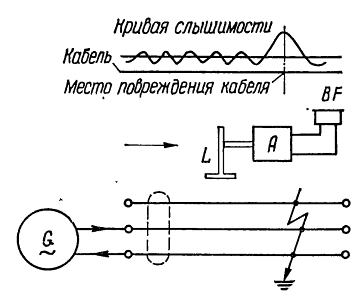


Рис. XIV.5. Схема определения места повреждения кабеля индукционным методом при междуфазном замыкании жил.

Индукционным методом можно определить место повреждения кабеля, трассу кабеля, место расположения муфт на трассе, глубину заложения кабеля.

Место повреждения кабеля при замыкании между жилами находят следующим образом: от генератора звуковой частоты (рис. XIV.5) подается ток 5 — 25 А на две поврежденные жилы кабеля. По трассе проходят с рамкой L, усилителем A и телефоном BF, улавливая характерный звук в телефоне от наведенной в рамке и усиленной ЭДС. Этот звук слышен на всем участке кабеля до места повреждения. Над местом повреждения, где ток переходит с одной жилы на другую, усиливается магнитное поле, звук в телефоне заметно возрастает, а затем затухает на расстоянии 0,5—1 м за местом повреждения.

При расположении жил кабеля в горизонтальной плоскости результирующее поле на поверхности земли существенно больше, чем при расположении жил в вертикальной плоскости. Кабели имеют скрутку жил с шагом повива 0,5—2,5 м, и в приемной рамке усилителя, расположенной вертикально над кабелем, при перемещении ее по трассе индуктируется ЭДС, периодически изменяющаяся от минимума (вертикальное расположение жил) до максимума (горизонтальное расположение). Следовательно, при движении рамки по трассе кабеля в телефоне будут слышны периодические усиления и затухания звука, повторяющиеся в зависимости от шага скрутки жил кабеля.

В тех местах, где имеется муфта, длина интервалов слышимости заметно изменяется и прослушивается резкое усиление звука за счет разводки жил в муфте. Это и используется для определения места нахождения муфты на трассе.

Однако не всегда по всей длине кабеля звук прослушивается одинаково хорошо. Плохая слышимость на некоторых участках может быть результатом неправильной скрутки жил кабеля, большой глубины его залегания или экранирования металлическими трубами. Поэтому особое внимание надо обращать на концевой эффект. Если звук прекра-

щается плавно или обрывается без заметного усиления, значит, кабель ушел на большую глубину или заложен в металлической трубе. Если звук усиливается — рамка находится над местом повреждения. В сомнительных случаях или при очень плохой слышимости рекомендуется делать измерения с двух сторон. В обоих случаях звучание должно прекратиться в одном и том же месте трассы.

Место повреждения в кабеле при замыкании на оболочку только одной жилы можно определить методом накладной рамки. Для кабельных линий, проложенных в земле, необходимо предварительно выполнить раскопку нескольких шурфов в зоне повреждения кабеля.

Место повреждения определяется по характеру изменения сигнала при повороте рамки L, расположенной непосредственно на оболочке, вокруг оси кабеля. Генератор звуковой частоты G подключают к поврежденной жиле и оболочке кабеля (рис. XIV.6) и пропускают ток 1—10 А. Если рамка находится между местом повреждения и генератором, при вращении рамки вокруг оси кабеля в телефоне за один оборот рамки прослушиваются два максимума и два минимума сигнала, обусловленные влиянием поля пары токов. При вращении вокруг оси кабеля рамки, находящейся за местом повреждения кабеля, прослушивается только монотонное звучание, обусловленное полем одиночного тока. Таким образом, по изменению характера звучания находят место повреждения. Применение метода затруднено, если переходное сопротивление в месте повреждения превышает несколько ом, а длина кабеля за местом повреждения более 1 км. В этом случае сказывается влияние емкостного тока кабеля, создающего за местом повреждения поле пары токов, что затрудняет выявление дефектного места.

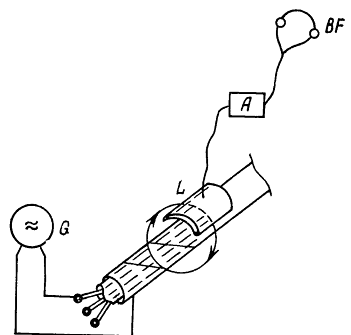


Рис. XIV.6. Схема определения места замыкания жилы кабеля на оболочку методом накладной рамки.

Конструктивно накладная рамка состоит из прямоугольной катушки, изогнутой по форме оболочки кабеля и закрытой стальным ярмом. Обмотка содержит 1000 витков провода ПЭВ диаметром 0,1 мм.

Определение трассы кабельной линии

При определении трассы кабеля один вывод генератора звуковой частоты присоединяют к неповрежденной жиле кабеля, а другой — к заземленной оболочке измеряемого кабеля. Противоположный конец используемой жилы заземляют (рис. XIV.7,*а*).

Ток генератора устанавливают от 50 мА до нескольких ампер. При сильных помехах или большой глубине залегания кабеля ток генератора приходится увеличивать до 15—20 А. Силовые линии магнитного поля системы токов жила — земля имеют форму концентрических окружностей.

Если ось приемной рамки кабелеискателя расположена горизонтально в плоскости концентрического поля (рис. XIV.8,*а*), ЭДС над кабелем достигает максимального значения, так как витки рамки пересекаются максимальным магнитным потоком. При удалении рамки от

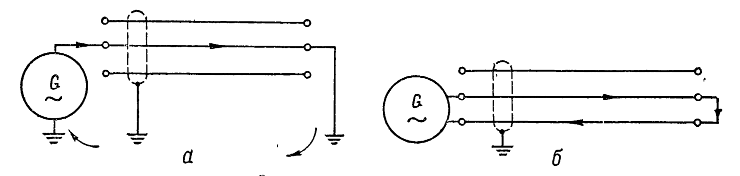


Рис. XIV.7. Схемы присоединения генератора звуковой частоты для определения трассы кабельной линии.

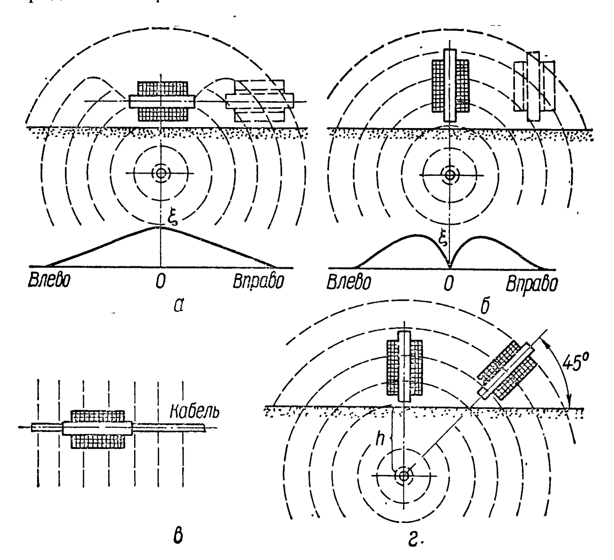


Рис. XIV.8. Распределение магнитного поля при определении трассы кабеля:

а — горизонтальное расположение рамки; *б* — вертикальное расположение рамки; *в* — параллельное расположение рамки и кабеля; *г* — расположение рамки при определении глубины залегания кабеля.

кабеля ЭДС убывает. Это свойство используется для ориентировочного нахождения трассы кабельной линии.

Когда ось рамки расположена вертикально, то точно над кабелем ЭДС равна нулю, так как витки рамки не пересекаются магнитным потоком (рис. XIV.8,*б*). При перемещении рамки в стороны от кабеля ЭДС сначала резко возрастает, а затем медленно убывает. Это используется для точного определения трассы кабеля.

Если ось рамки искателя кабеля расположена параллельно оси кабеля (рис. XIV.8,*в*), ЭДС равна нулю. При нарушении параллельности ЭДС возрастает, что используется для определения направления трассы кабеля.

Иногда вследствие большого сопротивления грунта ток заземления растекается от выводов генератора по оболочкам соседних кабелей, находящихся под рабочим напряжением. Минимум звучания получается над тем кабелем, по которому течет этот ток, а кабель, который подключен к генератору, не прослушивается. В таких случаях необ-

ходимо пользоваться схемой двухпроводного питания, т. е. выводы генератора следует включать на две жилы, замкнутые накоротко перемычкой с противоположной стороны (см. рис. XIV.7,*б*).

Определение глубины залегания кабеля

Для определения глубины залегания кабеля используется та же схема питания, что и для определения трассы кабеля (см. рис. XIV.7,*а*). Рамку усилителя располагают горизонтально и определяют трассу кабеля, отмечая ее чертой. Затем рамку поворачивают таким образом, чтобы ее ось была под углом 45° к вертикальной плоскости, проходящей через кабель. После этого рамку усилителя отводят в сторону от черты, проведенной над трассой кабеля. В зоне, где нет звучания в наушниках усилителя, проводят вторую черту. Расстояние между первой и второй чертами равно глубине залегания кабеля (рис. XIV.8,*г*).

При индукционном методе применяются электромашинные генераторы звуковой частоты типов АТО-8, ГИС-2, ГИМ-1, тиристорный — типа Г34-2, индукционные кабелеискатели типов КИ-3, ИП-7, ИПК-4, КАИ-73.

Акустический метод

Сущность метода заключается в создании в месте повреждения мощных электрических разрядов и фиксации на поверхности земли звуковых колебаний с помощью чувствительных приемных устройств. Для создания разрядов в месте повреждения электрическая энергия предварительно накапливается в конденсаторах или емкости жил самого кабеля путем заряда от выпрямительной установки. Запасенная энергия $\left(W = \frac{CU^2}{2}\right)$ при достижении напряжения пробоя расходуется при разряде за очень короткое время, и в месте повреждения происходит мощный удар. Звук от этого удара распространяется в окружающей среде и может быть прослушан на поверхности земли. По окончании разряда электрическая дуга в месте повреждения гаснет, а напряжение на емкости возрастает до напряжения пробоя. Обычно периодичность разрядов составляет 2—3 с. На поверхности земли звук прослушивается с помощью стетоскопа или пьезоэлектрического микрофона с усилителем и выходом на головные телефоны. В зависимости от характера повреждения кабельной линии собирается соответствующая схема измерения (рис. XIV.9). При замыканиях с переходным сопротивлением 40 Ом и более в качестве генератора импульсов используются выпрямительная установка, конденсатор емкостью 1—2 мкФ и искровой промежуток (см. рис. XIV.9,*а*); в качестве зарядной емкости могут быть использованы неповрежденные жилы кабеля (см. рис. XIV.9,*б*). Напряжение пробоя искрового промежутка не должно превышать 70 % испытательного напряжения кабеля данного типа, что необходимо для исключения перенапряжений на кабеле, возникающих при удвоении посылаемого импульса у разомкнутого конца, если пробой в месте повреждения изоляции не происходит.

При переходных сопротивлениях менее 40 Ом и металлических замыканиях на оболочку акустический метод неприменим. В этих случаях проводящий мостик в месте повреждения разрушают пропусканием больших токов, а металлические спаи выжигают с помощью сварочных или других трансформаторов. При повреждениях с заплывающим про-

боем напряжение на кабель подается непосредственно от выпрямительной установки (см. рис. XIV.9,*в*). При таком повреждении волновые перенапряжения не возникают, и напряжение пробоя может быть доведено до испытательного.

Определение места повреждения акустическим методом производится установкой датчика на грунт или дорожное покрытие через каждые 1—2 м до достижения максимальной слышимости. Обычно относительным методом предварительно определяется зона повреждения и уточняются места расположения соединительных муфт. Трасса кабеля уточняется индукционным методом по напряжению, наводимому

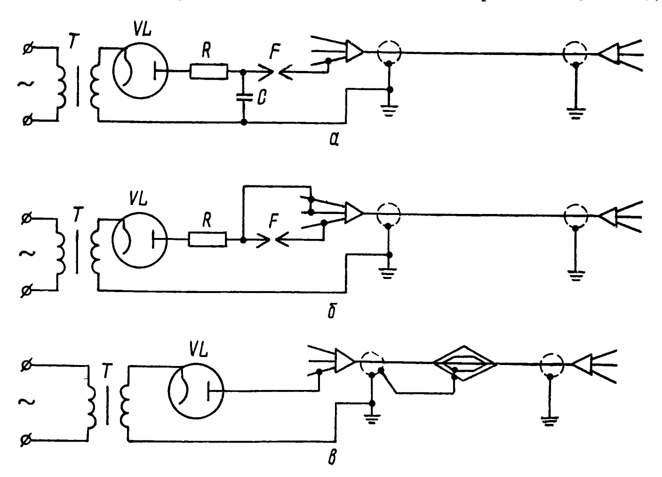


Рис. XIV.9. Принципиальные схемы определения места повреждения изоляции кабеля акустическим методом:

а — при устойчивом замыкании; *б* — с использованием емкости неповрежденных жил кабеля; *в* — при заплывающем пробое.

в рамке от тока разряда. В устройствах для отыскания мест повреждения акустическим методом обычно имеется индукционная катушка, используемая для уточнения трассы и для проверки наличия разрядов в кабеле. Обычно зона слышимости на поверхности земли в зависимости от свойств грунта составляет от 2 до 15 м. Место повреждения определяется по максимальной слышимости звука разрядов. Наилучшие результаты получаются при наличии отверстия в защитной оболочке кабеля, причем это условие является обязательным при большой глубине залегания кабеля.

Для акустического метода измерения может быть использован разработанный ВНИИЭ акустическо-индукционный кабелеискатель типа КАИ-73.

Петлевой метод

В тех случаях, когда поврежденная жила кабеля не имеет обрыва и в кабеле одна жила неповрежденная, расстояние до места повреждения можно определить петлевым методом, основанным на принципе измерительного моста. Схема петлевого измерения приведена на рис. XIV.10. Плечом *D* моста является сопротивление жилы кабеля от изме-

ряемого конца до места повреждения кабеля, плечо B — это сумма сопротивлений неповрежденной жилы кабеля и участка от места повреждения до противоположного конца кабеля. В качестве плеч A и C используются сопротивления измерительного моста. В одну из диагоналей моста включается гальванометр, в другую — батарея. Расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \frac{2LC}{A+C}, \qquad \text{(XIV.1)}$$

где L — длина кабеля; A и C — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии (нулевых показаниях гальванометра).

Для проверки точности выполненных измерений следует повторить измерение, поменяв местами концы проводов, соединяющих жилы кабеля с измерительным мостом. Тогда

$$L + l_y = \frac{2LC}{A+C}, \qquad \text{(XIV.2)}$$

где L — расстояние от места повреждения до противоположного конца кабеля; A и C — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии.

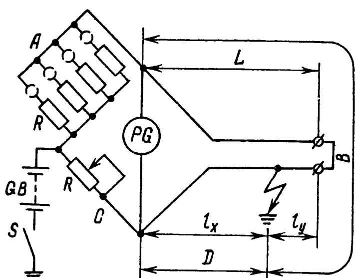


Рис. XIV.10. Схема определения места повреждения кабеля петлевым методом.

Если сумма обоих измерений не равна двойной длине кабеля, то измерения неверны, их следует повторить, проверив предварительно надежность контактных соединений. Соединение моста с жилами кабеля производится гибким медным проводом сечением 4 мм^2 с надежными латунными зажимами. Чтобы исключить влияние соединительных проводов на результат измерения, гальванометр нужно подключать к жилам кабеля отдельными проводами, притом так, чтобы концы проводов от гальванометра не соприкасались с концами A и C на зачищенной поверхности жилы кабеля. Сечение перемычки, соединяющей поврежденную жилу кабеля с неповрежденной, должно быть не меньше сечения жил кабеля; в месте соединения необходимо обеспечить контакт с небольшим переходным сопротивлением.

Переходное сопротивление на землю в месте повреждения кабеля должно быть не более 10 кОм (при больших сопротивлениях чувствительность моста заметно снижается). Напряжение батареи для питания моста зависит от значения переходного сопротивления в месте повреждения.

Рекомендуемые значения напряжения батареи для питания моста при петлевом методе измерения расстояния до места повреждения составляют 100—120 В при переходном сопротивлении 10 кОм, 24—30 В— при 1 кОм и 4—6 В — при 100 Ом.

В некоторых случаях мост не уравновешивается при любых значениях сопротивлений A и C. Это означает, что повреждение находится в самом начале кабеля со стороны места измерения, чаще всего в концевой воронке. Мост также не уравновешивается при обрыве соединительных проводов.

Формулы (XIV.1) и (XIV.2) пригодны в тех случаях, когда жилы по всей длине кабеля однородны. Если жилы кабеля неоднородны, необходимо привести все участки кабеля к какому-либо одному сече-

нию и удельному сопротивлению. Приведенную длину кабеля определяют по формуле

$$L_{пр} = l_{к1}\frac{S\rho_{к1}}{S_{к1}\rho} + l_{к2}\frac{S\rho_{к2}}{S_{к2}\rho} + \dots,$$

где $l_{к1}$, $l_{к2}$, ... ; $S_{к1}$, $S_{к2}$, ... ; $\rho_{к1}$, $\rho_{к2}$, ... — соответственно длины, сечения и удельные сопротивления приводимых участков кабеля; S, ρ — соответственно сечение и удельное сопротивление участка кабеля, к которому приводятся все остальные участки.

Приведенное расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_{x пр} = \frac{2L_{пр}C}{A + C},$$

где $L_{пр}$ — приведенная длина кабеля; A и C — сопротивления плеч измерительного моста при его равновесии.

Действительное расстояние до места повреждения определяют по $l_{x пр}$ путем обратного пересчета к действительным S и ρ.

Емкостный метод

При обрывах жил кабеля в соединительных муфтах расстояние до места повреждения может быть определено емкостным методом. Емкость кабеля измеряют как на переменном, так и на постоянном токе.

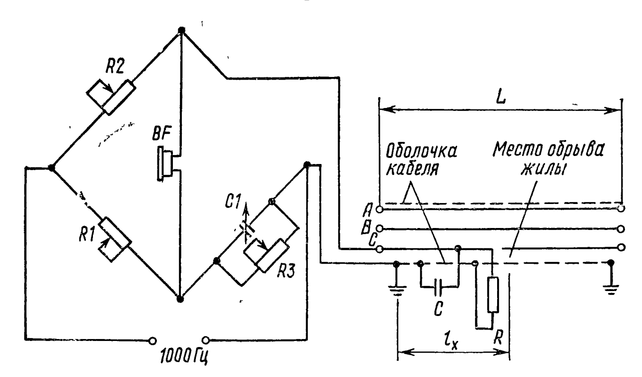


Рис. XIV.11. Схема определения места повреждения кабеля емкостным методом на переменном токе.

При измерении мостом переменного тока (рис. XIV.11) его плечи образуются регулируемыми комбинированными сопротивлениями $R1$, $R2$, емкостью измеряемой жилы C и эталонной емкостью $C1$ с регулируемым сопротивлением $R3$. К одной диагонали моста подводится напряжение звуковой частоты (обычно 1000 Гц), к другой диагонали подключается телефон или усилитель переменного тока со стрелочным индикатором. Регулируя сопротивления $R1$, $R2$, $R3$ и емкость $C1$, добиваются минимальной слышимости (или минимального отклонения стрелки индикатора), что соответствует равновесию плеч моста. Значение

емкости измеряемой жилы относительно земли определяется из выражения

$$C = \frac{R1}{R2} C1.$$

Мостами переменного тока можно измерять емкость при заземлениях с переходным сопротивлением не ниже 5 МОм; при меньших сопротивлениях точность измерения снижается. Все жилы кабеля, кроме измеряемой, заземляют для уменьшения их влияния.

Метод постоянного тока для измерения емкости может быть применен лишь при чистом обрыве жил кабеля, когда переходное сопротивление в месте обрыва составляет 20 МОм и больше. В этом случае собирают схему с батареей постоянного тока *GB* на 100—120 В, гальванометром *PG*, шунтом *R*, эталонным конденсатором *C* и двумя ключами *S1* и *S2* (рис. XIV.12). Установив шунтом *R* минимальную чувствительность гальванометра, ключ *S2* ставят в положение *1* (в положение *2* ключ возвращается пружиной). Зарядный ток от батареи в жилу кабеля проходит через гальванометр, стрелка отклоняется на угол α_1. Шунтом *R* чувствительность гальванометра увеличивают до максимально допустимого отклонения стрелки для данной емкости. Включение проводят три-четыре раза и находят среднее значение отклонения стрелки гальванометра. Затем при том же положении шунта ключ *S1* включают в положение *1* (в положение *2* ключ возвращается пружиной). Зарядный ток пойдет от батареи в эталонный конденсатор через гальванометр, и стрелка отклонится на угол α_2.

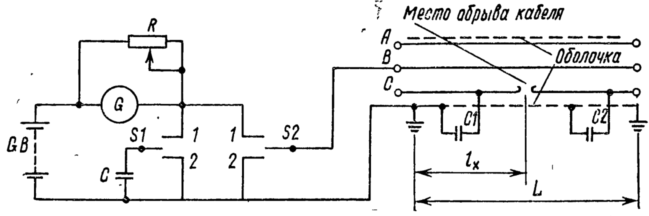


Рис. XIV.12. Схема определения места повреждения кабеля емкостным методом на постоянном токе.

Отклонение стрелки гальванометра пропорционально заряжаемой емкости, поэтому искомая емкость кабеля

$$C1 = \frac{C\alpha_1}{\alpha_2}.$$

При измерении емкости возможны три характерных случая.

1. При обрыве одной жилы без заземления измеряют емкость *C1* с одного конца, затем *C2* — с другого конца кабеля, длину кабеля делят пропорционально полученным емкостям. Расстояние до места повреждения находят по формуле

$$l_x = \frac{LC1}{C1 + C2},$$

где *L* — длина кабеля.

2. Если оборванная жила имеет с одного конца глухое заземление, измеряют емкость *C* незаземленной части жилы и неповрежденной жилы *C3*. Расстояние до места повреждения

$$l_x = \frac{LC1}{C3}.$$

3. При обрыве трех жил, две из которых имеют глухое заземление, измерение емкости возможно только со стороны одного конца кабеля. В этом случае расстояние до места повреждения определяют из выражения

$$l_x = \frac{1000Cl}{C_0},$$

где C_0 — удельная емкость кабеля (табл. XIV.4).

Емкостный метод по точности и удобству измерения значительно уступает импульсному. Его применяют лишь в том случае, когда нет импульсных приборов.

Таблица XIV. 4. **Емкость одной жилы трехжильного кабеля с бумажной пропитанной изоляцией по отношению к двум другим, соединенным с металлической оболочкой**

Сечение, мм²	Емкость одной жилы, мкФ/км, $U_{ном}$, В		
	до 3000	6000	10 000
10	—	0,173	—
16	0,26	0,199	—
25	0,303	0,242	0,199
35	0,364	0,268	0,234
50	0,399	0,312	0,251
70	0,476	0,346	0,268
95	0,484	0,363	0,303
120	0,554	0,399	0,32
150	0,571	0,441	0,381
185	0,64	0,458	0,390
240	0,7	0,502	0,399

Импульсный метод

Метод основан на посылке в поврежденную линию электрического импульса и измерении промежутка времени между моментами подачи этого импульса и прихода отраженного импульса. При этом расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \frac{t_x}{2} v,$$

где l_x — расстояние до места повреждения, м; v — скорость распространения импульса, равная для силовых кабельных линий 3—10 кВ 160 ± 1 м/мкс.

Измерения проводятся приборами типа ИКЛ-5, Р5-1А и Р5-5.

Процесс посылки импульса в кабель отражается на экране электронно-лучевой трубки прибора. Время пробега импульса при измерении приборами ИКЛ-5, Р5-1А измеряют с помощью вырабатываемых прибором специальных калибровочных импульсов, следующих друг за другом через определенное время (2 мкс) и также наблюдаемых на экране ЭЛТ (линия масштабных отметок времени). Расстояние до места повреждения определяется по экрану так:

$$l_x = nv, \qquad \text{(XIV.3)}$$

где n — количество масштабных отметок времени на экране от места измерения до места повреждения.

При измерениях прибором Р5-5 время пробега определяется отсчетом по шкале калиброванной временной задержки при совмещении отраженного импульса с заданной меткой.

Полярность отраженного импульса указывает на характер изменения волнового сопротивления в месте отражения. Выброс вверх соответствует увеличению волнового сопротивления (обрыв), выброс вниз — уменьшению волнового сопротивления (короткое замыкание). Поскольку волновое сопротивление неповрежденной линии обладает некоторой неоднородностью вдоль линии, то обнаружить этим способом можно лишь такое повреждение, при котором отражение больше, чем от неодно-

родности. Практически импульсным методом может быть обнаружено повреждение изоляции с переходным сопротивлением не более 200 Ом.

В начале измерений прибор подключают к исправной жиле, отмечают картину распространения импульса и определяют, какому количеству масштабных отметок времени n соответствует полная длина линии. При известной длине кабеля фактическая скорость распространения импульса в линии определяется по формуле

$$v = \frac{L}{n} \text{ [м/мкс]},$$

где L — полная длина кабеля, м.

После переключения прибора на поврежденную жилу расстояние до места повреждения определяют по (XIV.3). Если нет неповрежденной жилы, скорость распространения импульса принимается равной

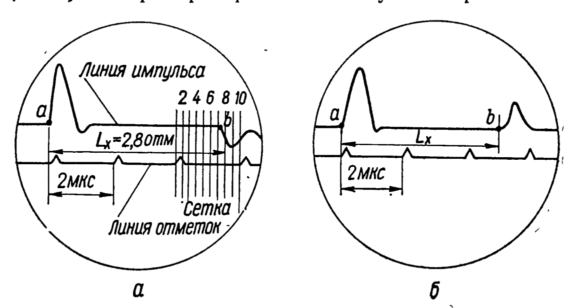


Рис. XIV.13. Изображение на экране импульсного прибора при определении места повреждения в кабельной линии:

а — при коротком замыкании жил; *б* — при обрыве жил.

160 м/мкс. Картина, наблюдаемая на экране прибора при измерениях линий с различным характером повреждения, приведена на рис. XIV.13.

Погрешность при измерениях на кабельных линиях приборами ИКЛ-5, Р5-1А обычно не превышает 1,5 %, а приборами Р5-5— 0,5 %.

Метод колебательного разряда

Метод колебательного разряда используется для определения мест повреждения с заплывающим пробоем (изоляция в месте повреждения в промежутке между пробоями восстанавливается) и основан на следующем принципе. Если от выпрямительной установки зарядить поврежденную жилу кабеля до напряжения пробоя в дефектном месте, то при пробое разряд будет иметь характер затухающих колебаний и по времени периода (полупериода) колебаний можно определить расстояние до места повреждения:

$$l_x = v\frac{T}{4},$$

где v — скорость распространения волны колебаний (для кабелей 3—10 кВ с бумажной изоляцией v = 160 м/мкс); T — период колебаний, мкс.

Для получения наибольшей точности при определении расстояния до места повреждения измеряется время только первого полупериода колебания, подверженного наименьшему искажению и затуханию. Измерение выполняется электронным микросекундомером по схеме, приведенной на рис. XIV.14. Поврежденная жила через сопротивление заряжается от выпрямительной высоковольтной установки. Напряжение заряда плавно поднимается до напряжения пробоя (но не выше значения, обусловленного нормами профилактических испытаний). В момент пробоя в кабеле происходит колебательный разряд, который фиксируется прибором ЭМКС-58М, присоединенным к жиле кабеля через емкостный делитель напряжения.

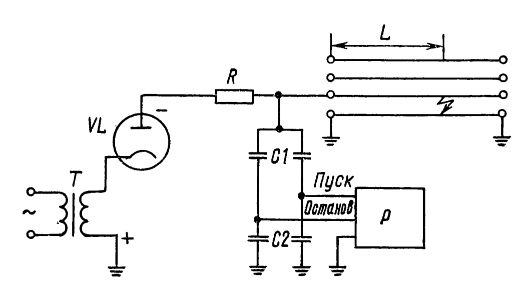


Рис. XIV.14. Схема включения прибора ЭМКС-58М при определении места повреждения в кабельной линии:

P — прибор ЭМКС; *C1*, *C2* — делитель напряжения; *T* — испытательный трансформатор; *VL* — выпрямитель.

Электронный микросекундомер ЭМКС-58М запускается фронтом волны положительной полярности и останавливается фронтом волны отрицательной полярности (через первую половину периода колебательного разряда). С момента пуска до остановки в приборе происходит зарядка эталонного конденсатора. Показания лампового вольтметра, измеряющего напряжение на конденсаторе, прямо пропорциональны продолжительности полупериода колебания, шкала прибора отградуирована в километрах. Схема прибора позволяет сохранять показания прибора неизменными в течение нескольких минут и предусматривает также блокировку, исключающую накладывание друг на друга замеров при поступлении повторных колебаний на вход прибора.

При измерении кабельных линий могут иметь место неоднородности волнового сопротивления, обусловленные соединением кабелей различных типов и сечений, а также некоторыми исполнениями соединительных муфт. Такие неоднородности искажают характерную кривую колебательного процесса и могут привести к преждевременному останову микросекундомера и неверному измерению. Для того чтобы напряжение помех не приводило к ложному останову схемы, напряжение останова должно быть выше напряжения помех.

В последние годы промышленностью освоен выпуск нового измерителя расстояния до места повреждения кабеля 6—35 кВ при заплывающем пробое типа Щ 4120. Прибор измеряет расстояния 40—40 000 м. Основная погрешность прибора ± 30 м. Прибор состоит из измерительного и присоединительного устройств (для присоединения прибора к кабелю, защиты изоляции прибора от высокого напряжения и передачи на вход прибора напряжения колебательного разряда). Принцип

и схема измерения прибора Щ 4120 такие, как и у ЭМКС-58М. Прибор Щ 4120 показал хорошие результаты измерений на кабелях с неоднородностями волнового сопротивления.

Метод измерения падения напряжения

Место повреждения определяют по схеме, приведенной на рис. XIV.15. Один полюс аккумуляторной батареи через защитное сопротивление соединяется с землей, другой через переключатель соединяется поочередно с каждым из концов петли, образованной поврежденной и неповрежденной жилами кабеля, и снимаются показания гальванометра. При неизменном токе в кабеле расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} 2L,$$

где L — длина кабеля, м; α_1, α_2— отклонения стрелки гальванометра при обоих замерах.

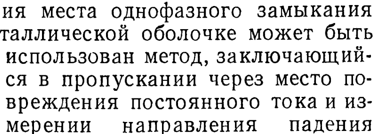


Рис. XIV.15. Схема определения места повреждения кабеля методом измерения падения напряжения (гальванометром).

На противоположном конце жилы кабеля соединяют короткой перемычкой сечением не менее сечения жил кабеля с надежными контактами.

Расстояние до места повреждения может быть также определено по схеме, приведенной на рис. XIV.16. Расстояние до места повреждения определяется из выражения

$$l_x = L \frac{u_1}{u_1 + u_2},$$

где u_1 и u_2— показания вольтметров.

Для непосредственного отыскания места однофазного замыкания открыто проложенных кабелей в металлической оболочке может быть использован метод, заключающийся в пропускании через место повреждения постоянного тока и измерении направления падения напряжения на металлической оболочке кабеля. Измерение проводится по схеме, приведенной на рис. XIV.17. Включение гальванометра осуществляется проводами с присоединенными к ним щупами, которыми касаются зачищенной металлической оболочки. В месте повреждения изменяется направление отклонения стрелки прибора.

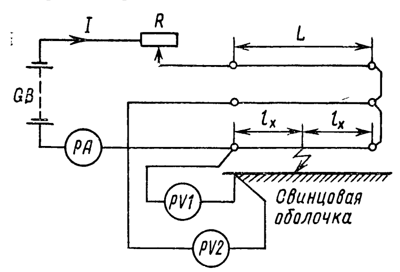


Рис. XIV.16. Схема определения места повреждения кабеля методом измерения падения напряжения (вольтметром).

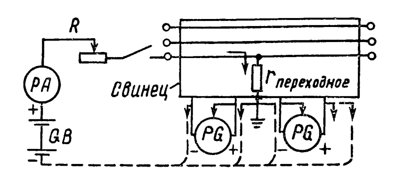


Рис. XIV.17. Схема определения места повреждения кабеля методом измерения падения напряжения на металлической оболочке кабеля.

Глава XV

ЗАЗЕМЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Объем приемосдаточных испытаний

Согласно ПУЭ, вводимые в эксплуатацию заземляющие устройства подвергают приемосдаточным испытаниям в следующем объеме.

1. Проверка элементов заземляющего устройства.
2. Проверка пробивных предохранителей в установках напряжением до 1000 В.
3. Проверка цепи фаза — нуль в установках напряжением до 1000 В с глухим заземлением нейтрали.
4. Измерение сопротивления заземляющих устройств.
5. Проверка цепи между заземлителями и заземленными элементами.

Проверка элементов заземляющего устройства

Проверка состояния элементов заземляющего устройства выполняется в пределах доступности осмотру.

При осмотре проверяется соответствие проекту сечения, глубины заложения заземлителей, надежность соединений элементов искусственного заземлителя (труб, полос и др.), а также соединений искусственного заземлителя с естественными, соответствие проекту сечения заземляющих магистралей и проводников, правильность присоединения заземляющих проводников к защищаемому оборудованию и к заземлителю, надежность сварных швов (путем легких ударов молотком), защищенность заземляющих проводников от механических повреждений (в местах, где возможны механические повреждения) и т. д.

Проверка пробивных предохранителей

Предохранители подвергаются наружному осмотру, при котором проверяется соответствие номинального напряжения пробивного предохранителя напряжению сети, состояние наружной поверхности и внутренних частей, отсутствие сколов, трещин, загрязнения фарфоровой изоляции, целость слюдяной прокладки, чистота разрядных поверхностей электродов.

Пробивные предохранители должны быть исправны и соответствовать номинальному напряжению электроустановки.

Проверка цепи фаза — нуль

Целью проверки является определение тока короткого замыкания при замыкании между фазами и заземляющими проводниками. Этот ток должен иметь определенную кратность по отношению к номи-

нальному току плавкой вставки или расцепителя автомата защищаемого присоединения.

Сопротивление цепи фаза — нуль состоит из сопротивлений фазы трансформатора, фазного провода и заземляющего провода. При протяженных линиях и больших мощностях трансформаторов измерение сопротивления петли допустимо без учета сопротивления обмотки трансформатора.

Следует учитывать, что если в измеряемой цепи есть стальные проводники, их сопротивление при малых токах значительно больше, чем при фактических токах короткого замыкания. Поэтому в таких случаях сопротивление при измерениях несколько больше, чем при фактических токах короткого замыкания.

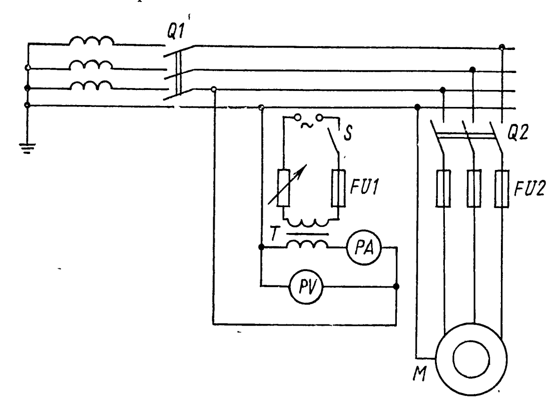


Рис. XV.1. Схема измерения сопротивления цепи фаза — нуль с помощью амперметра и вольтметра.

В соответствии с ПУЭ проверка цепи фаза — нуль должна производиться одним из методов: а) непосредственным измерением тока однофазного замыкания с применением специальных приборов; б) измерением полного сопротивления цепи с последующим вычислением тока однофазного короткого замыкания.

Ниже рассматриваются методы проверки цепи фаза — нуль.

Метод амперметра — вольтметра. Измерение ведется на отключенном оборудовании по схеме, показанной на рис. XV.1. Питание петли осуществляется от сварочного или котельного трансформатора, подключаемого к ближайшим к питающему трансформатору проводникам. Ток в измеряемой цепи должен быть не менее 10 А.

Для создания цепи фазный провод присоединяют к корпусу проверяемого оборудования. Сопротивление петли определяется по формуле

$$Z'_{\text{п}} = \frac{U}{I}.$$

Измеренное значение $Z'_{\text{п}}$ может быть с достаточной для практических расчетов точностью арифметически сложено с расчетным значением полного сопротивления одной фазы питающего трансформатора $Z_{\text{т}}/3$. Полное сопротивление петли определяется из выражения

$$Z_{\text{п}} = Z'_{\text{п}} + Z_{\text{т}}/3,$$

а возможный ток однофазного замыкания — из выражения

$$I^{(1)}_{к.\,з} = \frac{U_ф}{Z'_п + Z_т/3},$$

где $U_ф$ — фазное напряжение; $Z_т$ — расчетное значение сопротивления питающего трансформатора (табл. XV.1)

Таблица XV.1. **Расчетные значения сопротивлений силовых трансформаторов с вторичным напряжением 400/230 В при замыканиях на землю на вторичной стороне трансформатора**

Мощность трансформатора, кВ · А	Первичное напряжение трансформатора, кВ	Схема соединения обмоток трансформатора	Полное сопротивление трансформатора $Z_т \cdot 10^{-3}$, Ом
25	6—10	$У/У_н$	3110
40	6—10	$У/У_н$	1949
63	6—10	$У/У_н$	1237
	20		1136
100	6—10	$У/У_н$	779
	20—35		764
160	6—10	$У/У_н$	487
	6—10	$Д/У_н$	165
	20—35	$У/У_н$	478
250	6—10	$У/У_н$	312
	6—10	$Д/У_н$	106
	20—35	$У/У_н$	305
400	6—10	$У/У_н$	195
	20—35	$У/У_н$	191
	6—10	$Д/У_н$	66
630	6—10	$У/У_н$	129
	20—35	$У/У_н$	121
	6—10	$Д/У_н$	42
1000	6—10	$У/У_н$	81
	20—35	$У/У_н$	77
	6—10	$Д/У_н$	26
	20—35	$Д/У_н$	31

Измерение прибором типа М-417. Прибор типа М-417 предназначен для измерения сопротивления цепи фаза — нуль в сетях переменного тока промышленной частоты напряжением 380 В без отключения

испытываемого объекта. Работа прибора основана на измерении падения напряжения на встроенном в прибор нагрузочном резисторе, включаемом при измерении в контролируемую цепь. Падение напряжения на резисторе зависит от значения сопротивления цепи фаза — нуль, что позволяет проградуировать шкалу измерительного прибора в омах. Диапазон измерения прибора 0,1—2 Ом; основная погрешность ± 10 % длины рабочей части шкалы.

Измерения производят в следующем порядке. Прибор устанавливают в горизонтальное положение, ручку «Калибровка» ставят в левое крайнее положение. Зажим *К2* прибора присоединяют к корпусу испытываемого электроприемника, затем зажим *К1* — к фазному проводу у электроприемника. При этом должна загореться сигнальная лампа. При загорании сигнальной лампы нажимают кнопку «Проверка калибровки» и ручкой «Калибровка» устанавливают стрелку прибора на нуль (этим фиксируется значение фазного напряжения перед измерением). Отпустив кнопку «Проверка калибровки», нажимают кнопку «Измерение» и отсчитывают показание на шкале прибора. Загорание второй сигнальной лампы при нажатой кнопке «Измерение» свидетельствует о том, что сопротивление измеряемой цепи превышает 2 Ом. Схема прибора обеспечивает размыкание измерительной цепи прибора в течение 0,3 с при появлении на корпусе измеряемого объекта опасного напряжения, превышающего 36 В (что может иметь место при сопротивлении цепи фаза — нуль больше 2 Ом).

Метод измерения тока однофазного короткого замыкания. Энергосистемами, пусконаладочными и другими организациями разработаны и используются приборы, позволяющие выполнить непосредственное измерение значения тока однофазного короткого замыкания. Одним из приборов этого типа является прибор ИПЗ-Т. В основу работы прибора ИПЗ-Т положено измерение тока однофазного короткого замыкания, осуществляемое через шунт, имеющий активное сопротивление 0,00375 Ом. Коммутирующим элементом прибора служит тиристор с фазовым управлением. Длительность протекания тока короткого замыкания не превышает 0,014 с, что обеспечивает безопасность обслуживающего персонала в случае прикосновения к корпусам электрооборудования при испытаниях и не нарушает нормальной работы электроустановки. Падение напряжения на шунте в момент короткого замыкания, пропорциональное амплитудному значению тока короткого замыкания, усиливается и запоминается на конденсаторе. Измерение напряжения на конденсаторе осуществляется стрелочным прибором, шкала которого проградуирована в действующих значениях измеряемого тока. В схеме прибора предусмотрен узел, исключающий влияние апериодической составляющей тока короткого замыкания на результаты измерений. Для безопасности обслуживающего персонала при измерениях в приборе имеется реле, допускающее работу прибора при исправном заземлении испытываемого объекта.

Измерение сопротивления заземляющих устройств

Для измерения сопротивления заземлителей создается искусственная цепь тока через испытываемый заземлитель. Для этого на некотором расстоянии от испытываемого заземлителя располагается вспомогательный заземлитель, подключаемый вместе с испытываемым заземлителем к источнику питания. Для измерения падения напряжения в сопротивлении испытываемого заземлителя при прохождении через него тока в зоне нулевого потенциала располагается зонд.

Точность измерения сопротивления заземлителей зависит от взаимного расположения испытываемого и вспомогательных заземлителей и от расстояний между ними. Для особо точных измерений сопротивления сложных заземлителей достаточными являются расстояния между измерительными электродами и от электродов до испытываемого заземлителя, равные $5D$ (D — большая диагональ контура заземления). При больших размерах заземлителя соблюдение указанных расстояний требует значительных затрат времени и труда. Поэтому во всех случаях обычных измерений следует применять схему, изображенную на рис. XV.2, обеспечивающую достаточную точность измерений при значительно меньших расстояниях. В качестве размера D следует принимать: для заземляющих сеток и для заземлителей, состоящих из заземляющей сетки или контура и вертикальных электродов,— длину большей диагонали; для заземлителей, состоящих из вертикальных электродов, расположенных в ряд и объединенных горизонтальной полосой, — длину полосы; для заземлителей в виде одиночной горизонтальной полосы — длину полосы. Если заземлители представляют собой железобетонные фундаменты здания или стальные полосы, проложенные для выравнивания потенциалов, то в качестве D следует принимать наибольший размер здания в плане. Размер a следует принимать в зависимости от размера D, исходя из следующих соотношений:

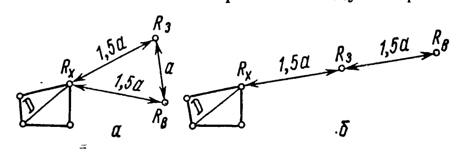


Рис. XV.2. Схемы расположения электродов при измерении сопротивлений сложных заземлителей и одиночных горизонтальных полос:

а — двухлучевая; *б* — однолучевая.

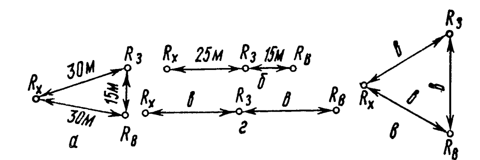


Рис. XV.3. Схемы расположения электродов при измерении сопротивления одиночных вертикальных заземлителей:

а, *в* — двухлучевых; *б*, *г* — однолучевых.

D, м	> 40	$10 < D \leqslant 40$	$\leqslant 10$
a, м	$\geqslant D$	$\geqslant 40$	~ 20

При измерении сопротивления одиночных вертикальных заземлителей длиной до 6 м следует применять схемы расположения электродов, изображенные на рис. XV.3,*а*, *б*, а для заземлителей длиной свыше 6 м — схемы рис. XV.3,*в*, *г*. Расстояние *в* следует принимать не менее $3D$, где D — длина вертикального заземлителя.

Относительная погрешность измерения, обусловленная уменьшенными расстояниями между электродами при измерениях по схемам, приведенным на рис. XV.2 и XV.3, не превышает 5 %.

Направление разноса электродов нужно выбрать таким образом, чтобы электроды не оказались ближе 10 м от подземных металлических конструкций (кабелей с металлическими оболочками, трубопроводов, заземлителей опор ВЛ и др.). В некоторых случаях при наличии большого количества подземных коммуникаций может потребоваться несколько измерений при различных направлениях лучей и различных расстояниях *а* или *в*. Из нескольких измеренных значений в качестве действительного значения принимают наихудший результат.

В качестве вспомогательного заземлителя и зонда могут применяться стальные неокрашенные электроды диаметром 10—20 мм, длиной 0,8—1 м.

Завод «Мегомметр» выпускает комплект принадлежностей П4126М для измерения сопротивления заземлителей, состоящий из футляра, катушек с проводом, металлических штырей, рычага и насадки.

Электроды следует забивать в плотный естественный (не насыпной) грунт на глубину не менее 0,5 м. В грунтах с большим удельным сопротивлением места, где нужно забить вспомогательные заземлители, уплотняют либо увлажняют водой, раствором соли или кислоты. В качестве вспомогательных заземлителей могут быть использованы отрезки металлических труб, рельсов и другие металлические предметы, находящиеся в земле и не связанные с испытываемым заземлителем.

Количество штырей в измерительном электроде зависит от требуемого сопротивления электрода и от удельного сопротивления поверхностного слоя земли. Для устройства потенциального электрода в большинстве случаев достаточно одного штыря. Для устройства токового электрода в сухих песчаных или мерзлых грунтах может потребоваться несколько соединенных электродов.

При измерении сопротивления заземления опор линий электропередачи, соединенных между собой тросом, последний должен отсоединяться от испытываемой опоры.

Сопротивление заземлителя не должно превышать нормируемого значения в любое время года. Для получения максимально возможного значения сопротивления заземлителя на протяжении года (при наибольшем высыхании земли летом и при наибольшем ее промерзании зимой) измеренные значения сопротивления должны быть умножены на сезонный коэффициент K (табл. XV.2).

Коэффициент K_1 принимают в случае измерения при влажном грунте или в случае, когда моменту измерения предшествовало выпадение большого количества осадков; K_2— в случае измерения при средней влажности грунта и нормальном количестве осадков, предшествовавших измерению; K_3— в случае измерения при сухом грунте или в случае, когда моменту измерения предшествовало выпадение незначительного количества осадков.

Максимально допустимые значения сопротивления заземляющих устройств приведены в табл. XV.3.

Циркуляром Главного технического управления по эксплуатации энергосистем Минэнерго СССР «О введении временных норм на напряжение прикосновения для распределительных устройств и подстанций напряжением выше 1000 В с глухим заземлением нейтрали» установлены для заземляющих устройств распределительных устройств и подстанций напряжением выше 1000 В с глухим заземлением нейтрали временные нормы на напряжение прикосновения:

Продолжительность воздействия, с	До 0,1	0,2	0,5	0,7	1,0	Более 1 до 3
Наибольшее допустимое напряжение прикосновения, В	500	500	200	130	100	65

В качестве расчетной длительности воздействия, по которой определяется допустимое напряжение прикосновения, принимается сумма времени действия релейной защиты и времени отключения выключателя. Для промежуточных значений продолжительности воздействия допустимые напряжения прикосновения определяются интерполяцией.

Таблица XV.2. **Сезонные коэффициенты заземлителей**

Тип заземлителя	Размеры заземлителя	Глубина заложения 0,7—0,8 м		
		K_1	K_2	K_3
Горизонтальная полоса	$l = 5$ м	4,3	3,6	2,9
	$l = 20$ м	3,6	3,0	2,5
Заземляющая сетка или контур	$S = 400$ м^2	2,6	2,3	2,0
	$S = 900$ м^2	2,2	2,0	1,8
	$S = 3600$ м^2	1,8	1,7	1,6
Заземляющая сетка или контур с вертикальными электродами длиной 5 м	$S = 900$ м^2 ($n \geqslant 10$ шт.)	1,6	1,5	1,4
	$S = 3600$ м^2 ($n \geqslant 15$ шт.)	1,5	1,4	1,3
Одиночный вертикальный заземлитель	$l = 2,5$ м	2,0	1,75	1,5
	$l = 3,5$ м	1,6	1,4	1,3
	$l = 5$ м	1,3	1,23	1,15

Соответствие заземляющего устройства допустимым нормам на напряжение прикосновения должно устанавливаться при приемосдаточных испытаниях, при которых экспериментально проверяются напряжение прикосновения, сопротивление заземляющего устройства и определяются напряжение на заземляющем устройстве при расчетном токе замыкания на землю, а также время действия основной и резервной релейных защит.

Согласно «Нормам испытания электрооборудования» на воздушных линиях электропередачи измерения сопротивления заземляющих устройств производятся: а) при напряжении выше 1 кВ: на опорах с разрядниками и защитными промежутками; на опорах с электрооборудованием; выборочно на 2 % общего количества опор с заземлителями в населенной местности, на участках ВЛ с наиболее агрессивными, оползневыми, выдуваемыми или плохо проводящими грунтами; б) при напряжении до 1 кВ: на опорах с заземлителями грозозащиты; на опорах с повторными заземлителями нулевого провода; выборочно на 2 % общего количества опор.

Значения сопротивлений, указанные в табл. XV.3, в местах с высокими удельными сопротивлениями земли могут быть повышены в соответствии с требованиями ПУЭ.

Для измерения сопротивления заземляющих устройств должен применяться переменный ток, так как при постоянном токе в земле возникают ЭДС поляризации, искажающие результат измерения.

Ниже рассматриваются методы измерения сопротивления заземлителей.

Измерение методом амперметра — вольтметра

Измерения выполняют по схеме, приведенной на рис. XV.4. Питание схемы непосредственно от сети недопустимо из-за влияния проводимости изоляции сети на результат измерения. Для питания схемы могут быть использованы сварочные, нагрузочные и котельные трансформаторы. Амперметр и вольтметр к испытываемому заземлителю следует подключать отдельными проводами, так как иначе при случайном отсоединении от заземлителя соединенных вместе проводов вольтметр окажется под полным напряжением и может быть поврежден.

	Глубина заложения 0,5 м			Глубина заложения 0 м		
	K_1	K_2	K_3	K_1	K_2	K_3
	8,0	6,2	4,4	—	—	—
	6,5	5,2	3,8	—	—	—
	4,6	3,8	3,2	—	—	—
	3,6	3,0	2,7	—	—	—
	3,0	2,6	2,3	—	—	—
	2,1	1,9	1,8	—	—	—
	2,0	1,9	1,7	—	—	—
	—	—	—	3,8	3,0	2,3
	—	—	—	2,1	1,9	1,6
	—	—	—	1,6	1,45	1,3

Сущность метода заключается в измерении тока I, проходящего через испытываемый заземлитель, и напряжения U между заземлителем и зондом. Сопротивление испытываемого заземлителя $R = U/I$. Для достаточной точности измерения сопротивление вольтметра должно быть значительно больше сопротивления зонда, которое может достигать 1—2 кОм. Так, для того чтобы погрешность не превышала 2 %, сопротивление вольтметра должно быть по крайней мере в 50 раз больше сопротивления зонда. Если при измерениях используется вольтметр с меньшим внутренним сопротивлением, действительное значение измеренного напряжения может быть определено по формуле

$$U_{\text{х}} = U_{\text{в}}\left(1 + \frac{R_{\text{з}}}{R_{\text{в}}}\right),$$

где $U_{\text{в}}$ — показание вольтметра, В; $R_{\text{з}}$ — сопротивление зонда, Ом; $R_{\text{в}}$ — внутреннее сопротивление вольтметра, Ом. Перед измерениями при отключенной схеме необходимо убедиться по вольтметру в отсутствии посторонних токов в земле. Если же есть значительные напряжения от посторонних токов, то необходимо их устранить (например, отключить электросварку) либо, когда устранение невозможно, изменить место расположения зонда.

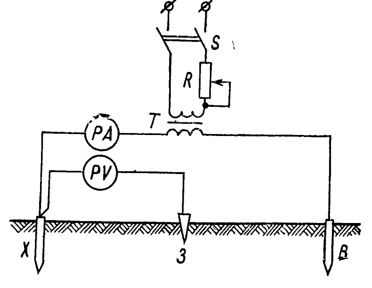


Рис. XV.4. Схема измерения сопротивления заземлителей с помощью амперметра — вольтметра.

Влияние посторонних токов можно снизить увеличением тока в испытательной цепи. Измерения проводят только тогда, когда нет постороннего напряжения либо оно незначительно. При измерении малых сопротивлений достаточным является ток 20—25 А. Если при измерении ток имеет значение, достаточное для отклонения стрелки вольтметра, но стрелка не отклоняется или отклоняется слабо, необходимо измерить сопротивление зонда. Для измерения сопротивления зонда провод токовой цепи отсоединяют от испытываемого заземлителя

Таблица XV.3. **Наибольшие допустимые значения сопротивления заземляющих устройств**

Наименование электроустановки	Характеристика электроустановки или заземляемого объекта	Измеряемая величина	Сопротивление, Ом
Электроустановка на напряжение выше 1 кВ, кроме ВЛ	С эффективно заземленной нейтралью	Сопротивление заземляющего устройства	0,5 или по нормам на напряжение прикосновения
	Электроустановка в сети с изолированной нейтралью	То же	250/*I*, но не более 10 Ом (125/*I*, но не более нормированных значений для электроустановок напряжением до 1 кВ)
	Отдельно стоящий молниеотвод	Сопротивление заземлителя	25
Электроустановка на напряжение до 1 кВ, кроме ВЛ	С глухозаземленной нейтралью: искусственный заземлитель, к которому присоединены нейтрали генераторов и трансформаторов на напряжение до 1 кВ;	То же, для сети	
		660/380 В	15
		380/220 В	30
		220/127 В	60
	то же вместе с естественными заземлителями	То же, для сети	
		660/380 В	2
		380/220 В	4
		220/127 В	8
	С изолированной нейтралью	Сопротивление заземляющего устройства при мощности генератора или трансформатора	
		до 100 кВ·А включительно	10
		свыше 100 кВ·А	4
ВЛ на напряжение выше 1 кВ	Опоры железобетонные, металлические и деревянные, на которых подвешен трос или установлены уст-	Сопротивление заземлителя при удельном сопротивлении грунта, Ом · м	

	ройства грозозащиты; опоры железобетонные и металлические ВЛ 35 кВ и такие же опоры ВЛ 3—20 кВ в населенной местности, а также заземлители электрооборудования, установленного на опорах ВЛ 110 кВ и выше	до 100 более 100 до 500 более 500 до 1000 более 1000	10 15 20 30
	Заземлители электрооборудования, установленного на опорах ВЛ 3—35 кВ	Сопротивление заземлителя	10
	Опоры железобетонные и металлические ВЛ 3—20 кВ в ненаселенной местности	То же при удельном сопротивлении грунта, Ом · м до 100 более 100	 30 0,3ρ
	Разрядники и защитные промежутки на подходах ВЛ к подстанциям с вращающимися машинами	Сопротивление заземлителя	5
ВЛ на напряжение до 1 кВ	Опоры с повторными заземлителями нулевого провода в сетях с глухозаземленной нейтралью	То же для сети 660/380 В 380/220 В 220/127 В	 15 30 60
	Опоры железобетонные и металлические в сети с изолированной нейтралью	Сопротивление заземлителя	50
	Заземлитель грозозащиты	То же	30

Примечания. 1. В скобках дано значение сопротивления заземляющего устройства, одновременно используемого для электроустановок напряжением до 1 кВ. 2. ρ — удельное сопротивление грунта. 3. I — расчетный ток замыкания на землю: в сетях без компенсации емкостных токов — полный ток замыкания на землю; в сетях с компенсацией емкостных токов: для заземляющих устройств, к которым подключены компенсирующие аппараты,— ток, равный 125 % номинального тока этих аппаратов; для заземляющих устройств, к которым не подключены компенсирующие аппараты,— остаточный ток замыкания на землю, который может иметь место в данной сети при отключении наиболее мощного из компенсирующих устройств или наиболее разветвленного участка сети.

и присоединяют к зонду. Остальная часть схемы остается прежней, и сопротивление зонда определяется делением измеренного напряжения на значение тока.

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно провод, идущий к вольтметру, отсоединить от испытываемого и присоединить к вспомогательному заземлителю. Сопротивление последнего определяется так же, как и для зонда.

Значение сопротивления испытываемого заземлителя принимается как среднее арифметическое трех измерений.

Исходя из условий техники безопасности, желательно при измерениях применять как можно меньшее напряжение. Если применение безопасного напряжения не представляется возможным, необходимо принять меры, исключающие появление людей и животных в районе вспомогательного заземлителя.

Измерение сопротивления заземлителей прибором МС-08

Прибор состоит из генератора с ручным приводом, прерывателя тока, выпрямителя, логометра и резисторов. Постоянный ток генератора, проходя через токовую обмотку логометра, преобразуется прерывателем в переменный и подается во внешнюю цепь через вспомогательный и испытываемый заземлители. На потенциальную обмотку логометра подается переменное напряжение, снимаемое с испытываемого заземлителя и зонда и выпрямленное посредством выпрямителя. Показания логометра пропорциональны отношению токов в его обмотках и, следовательно, отношению напряжения, снимаемого с испытываемого заземлителя и зонда, к току, проходящему через испытываемый заземлитель. Таким образом, показания логометра пропорциональны сопротивлению испытываемого заземлителя, и шкала логометра проградуирована в омах. Подвижная система логометра не имеет моментной пружины и при обесточенных обмотках логометра находится в неустойчивом состоянии. Прибор имеет три предела измерения: 0—1000, 0—100 и 0—10 Ом.

Для измерения больших сопротивлений прибор включают по схеме, приведенной на рис. XV.5. В этом случае сопротивление проводника, соединяющего прибор с испытываемым заземлителем, является частью измеряемого прибором сопротивления.

При измерении малых сопротивлений прибор следует включать по схеме, приведенной на рис. XV.6. Если при собранной схеме и неподвижном генераторе стрелка прибора отклоняется, значит, в земле есть посторонний постоянный ток. Он не оказывает существенного влияния на показания прибора, так как при вращении генератора он преобразуется в переменный, не влияющий на показания логометра.

Прибор проградуирован для внешнего сопротивления потенциальной цепи, равного 1000 Ом. Поэтому перед измерениями необходимо компенсировать сопротивление потенциальной цепи. Для этого переключатель режима прибора устанавливают в положение «Регулировка» и, вращая рукоятку генератора со скоростью 120—135 об/мин, добиваются изменением регулируемого сопротивления совпадения стрелки прибора с красной чертой на шкале. Если при правильно собранной схеме измерений не удается установить стрелку прибора на красную черту, следовательно, сопротивление зонда превышает 1000 Ом и его следует снизить.

В начале работы прибор включают на предел измерения 1000 Ом. Если при вращении генератора со скоростью 120—135 об/мин отклоне-

ние стрелки незначительно, переходят на меньший предел измерения. При вращении генератора проводят отсчет по шкале, результат отсчета умножают на коэффициент, указанный переключателем пределов.

Если стрелка прибора устанавливается неуверенно, что свидетельствует о слишком большом сопротивлении вспомогательного заземлителя и недостаточной чувствительности логометра, необходимо принять

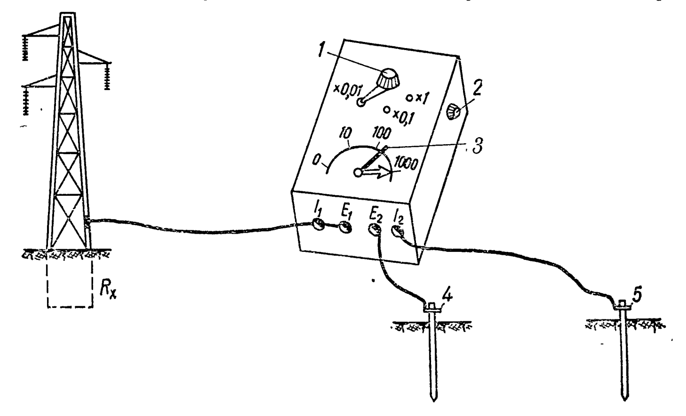


Рис. XV.5. Схема измерения сопротивления заземлителей измерителем заземления типа МС-08 (трехпроводная схема):
1 — переключатель; *2* — реостат потенциальной цепи; *3* — красная черта на шкале; *4* — зонд; *5* — вспомогательный заземлитель; R_x — сопротивление испытываемого заземлителя.

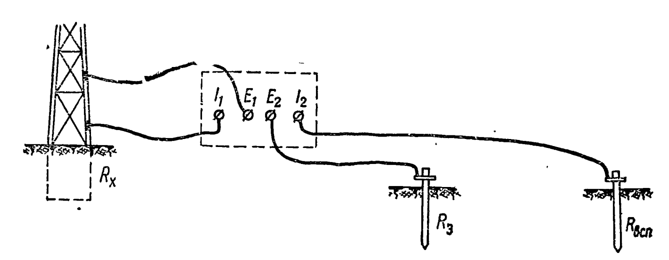


Рис. XV.6. Схема измерения сопротивления заземлителей измерителем заземления типа МС-08 (четырехпроводная схема).

меры к уменьшению сопротивления. Сопротивление вспомогательного заземлителя должно быть не более следующих значений:

Предел измерения, Ом	1000	100	10
Предельно допустимое сопротивление вспомогательного заземлителя, Ом	1000	500	250

Для измерения сопротивления вспомогательного заземлителя достаточно поменять местами провода, присоединенные к зажимам I_1 и I_2 прибора, и провести измерения, как указано выше.

Колебания стрелки прибора при измерениях свидетельствуют о посторонних переменных токах в земле, влияние которых можно устра-

нить изменением скорости вращения генератора. Эта скорость, однако, должна находиться в пределах 90—150 об/мин. В тех случаях, когда удается полностью устранить колебания стрелки, измерения можно провести при незначительных колебаниях; погрешность измерений при этом невелика.

Для точного измерения очень малых сопротивлений может быть использован метод амперметра — вольтметра.

Измерение сопротивления заземлителей прибором М416

Принцип действия прибора основан на компенсационном методе измерения. Структурная схема прибора и его присоединения при измерении приведена на рис. XV.7. Переменный ток от преобразователя через первичную обмотку трансформатора T, токовые зажимы *1* и *4* прибора поступает во внешнюю цепь. Вторичная обмотка трансформатора подключена к резистору *R1*, с помощью которого производится компенсация. При такой схеме включения на измерительное устройство (усилитель, детектор и индикатор *P*) подается разность напряжений на резисторе *R1* и на измеряемом сопротивлении. В момент компенсации (равенства сравниваемых напряжений) ток в цепи индикатора будет равен нулю. Резистор *R1* снабжен шкалой, позволяющей непосредственно определить значение измеряемого сопротивления.

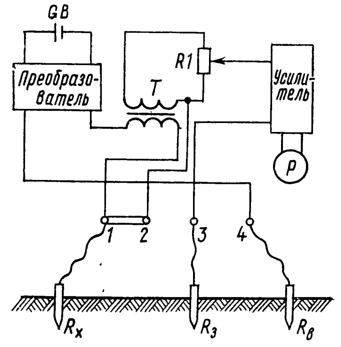


Рис. XV.7. Структурная схема измерителя заземления М416.

Пределы измерения прибора М416 — от 0,1 до 1000 Ом. Изменение диапазонов измерения осуществляется параллельным включением с резистором *R1* сопротивлений, значение которых зависит от предела измерений. Источником питания прибора служат три последовательно соединенных сухих элемента типа 373 («Марс»).

Порядок измерения следующий. Перед началом измерения переключатель устанавливают в положение «Контроль 5 Ом», нажимают кнопку и ручкой «Реохорд» устанавливают стрелку индикатора на нуль, при этом на шкале реохорда должно быть показание 5 ± 0,3 Ом. Затем переключатель диапазонов устанавливают в положение «X1», нажимают кнопку и ручкой «Реохорд» устанавливают стрелку индикатора на нуль. Результат измерения равен произведению показания шкалы реохорда на множитель диапазона. Если значение измеряемого сопротивления больше 10 Ом, необходимо перейти на следующий диапазон измерений.

Схемы измерения сопротивления заземлителей прибором М416 аналогичны схемам, приведенным на рис. XV.5, XV.6 (зажимам I_1, E_1, E_2, I_2 прибора МС-08 соответствуют зажимы *1*, *2*, *3*, *4* прибора М416).

Проверка цепи между заземлителями и заземленными элементами

Проводка, соединяющая оборудование и аппаратуру с заземляющим устройством, не должна иметь обрывов и неудовлетворительных

контактов. Сопротивление этой проводки не нормируется и составляет обычно 0,05—0,1 Ом. Надежность сварки проверяется ударом молотка.

Наличие цепи между заземлителями и заземленными элементами обычно проверяют измерением ее сопротивления различными приборами: измерителями заземления типа МС-08, М416, специальным омметром типа М372 для измерения сопротивления заземляющей проводки, градуированным в омах амперметром.

Измерение сопротивления заземляющей проводки специальным омметром типа М372 выполняют следующим образом.

Провод от одного из зажимов R_x прибора присоединяют посредством струбцины к предварительно зачищенному участку магистрали заземления. Корректором устанавливают стрелку прибора на нуль, затем нажимают кнопку и рукояткой устанавливают стрелку на отметку «∞». Щуп соединяют со вторым зажимом R_x прибора и прикосновением острия щупа к корпусу испытываемого объекта, не нажимая кнопки, убеждаются, что на нем нет напряжения. В этом случае нажимают кнопку и проводят измерение сопротивления. Нельзя нажимать на кнопку, если на корпусе испытываемого объекта есть напряжение. Можно оставлять прибор включенным не более 30 с.

Прибор позволяет измерять сопротивление до 5 Ом и обнаруживать напряжение от 60 до 380 В.

Обрывы и неудовлетворительные контакты заземляющей проводки можно обнаружить пропусканием тока через проверяемую цепь от понижающего трансформатора со вторичным напряжением 12 В через амперметр. Отсутствие тока, колебание стрелки амперметра или малое значение тока указывают на разрыв или плохой контакт. В месте плохого контакта бывает искрение или нагрев.

Измерение удельного сопротивления грунта

Измерение удельного сопротивления грунта может быть выполнено одним из следующих методов.

Метод контрольного электрода

На площадке, где проводится измерение, в грунт забивают контрольный электрод в виде трубы, стержня или уголка таких же размеров и на такую же глубину, как у действительного заземлителя. Вспомогательный заземлитель и зонд располагаются в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

Затем одним из рассмотренных выше методов измеряют сопротивление контрольного электрода $R_и$. Удельное сопротивление грунта на глубине заложения электрода определяют по приведенным ниже формулам.

Для электрода диаметром d, погруженного с поверхности земли на глубину l,

$$\rho = \frac{R_и l}{0{,}366 \lg \frac{4l}{d}} \text{ [Ом} \cdot \text{м]}.$$

Для электрода диаметром d, погруженного на глубину l при расстоянии t от поверхности земли до верхнего конца электрода,

$$\rho = \frac{R_{и} l}{0{,}366 \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{t + 0{,}75l}{t + 0{,}25l} \right)} \text{ [Ом · м]}.$$

Для горизонтального электрода диаметром d, длиной l, с глубиной заложения t

$$\rho = \frac{R_{и} l}{0{,}366 \lg \frac{l^2}{dt}} \text{ [Ом · м]}.$$

При применении электродов из угловой стали эквивалентный диаметр $d_{экв}$ принимается равным 0,955*б*, где *б* — ширина полки; для горизонтального электрода из полосовой стали $d_{экв}$ принимается равным 0,5*б*, где *б* — ширина полосы.

Метод вертикального электрического зондирования

По этому методу в двух точках на поверхности земли симметрично относительно точки измерения погружают два электрода (токовые), через которые в землю пропускают электрический ток I. В двух других точках (тоже расположенных симметрично относительно точки измерения) погружают потенциальные электроды и измеряют разность потенциалов U на этих электродах. Измеренное удельное сопротивление земли вычисляется по формуле

$$\rho = k \frac{U}{I} \text{ [Ом · м]},$$

где k — коэффициент, зависящий от расстояния между электродами.

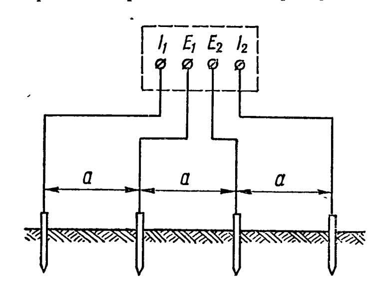


Рис. XV.8. Схема измерения удельного сопротивления грунта измерителем заземления типа МС-08.

Для измерения сопротивления грунта в геофизике и геологоразведке используется специальная аппаратура. При отсутствии специальной аппаратуры для измерения сопротивления грунта с целью сооружения заземлителей могут быть использованы измерители заземлений типов МС-08, М416. Для этого на испытываемом участке забивают в землю по прямой линии на некотором расстоянии друг от друга четыре электрода на глубину, не превышающую 0,05 расстояния между соседними электродами (рис. XV. 8). Перед измерением прибором МС-08 компенсируют сопротивление потенциальной цепи. Для этого при положении переключателя режимов «регулировка» рукоятку прибора вращают со скоростью 120—135 об/мин и изменением регулировочного сопротивления добиваются совпадения стрелки прибора с красной чертой на шкале.

Удельное сопротивление грунта может быть определено по формуле

$$\rho = 2\pi a R_и \ [Ом \cdot м],$$

где $R_и$ — показания прибора, Ом; a — расстояние между электродами, м.

Измерение удельного сопротивления грунта прибором типа М416 производится аналогично (зажимы I_1, E_1, E_2, I_2 прибора МС-08 соответствуют зажимам *1*, *2*, *3*, *4* прибора М416).

Измерение распределения потенциалов на поверхности земли

Непосредственное измерение потенциалов может быть выполнено с помощью вольтметра по схеме, приведенной на рис. XV.9. На схеме X и B — соответственно испытываемый и вспомогательный заземлители. Зонд $З_0$ помещается в зоне нулевого потенциала, а передвижной зонд $З_1$ — в точках, потенциал которых надо измерить. Потенциал в какой-либо точке выражается в процентах от полного потенциала:

$$U_A = \frac{U_V}{U_X} 100 \, [\%],$$

где U_V — показания вольтметра, подключенного к зонду в точке A; U_X — показания вольтметра, подключенного к испытываемому заземлителю в точке X.

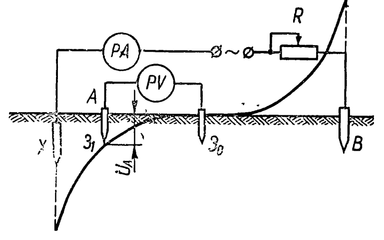


Рис. XV.9. Схема измерения потенциалов на поверхности земли с помощью вольтметра и двух потенциальных электродов.

Измерение распределения потенциалов должно выполняться при неизменном токе, значение которого поддерживается реостатом и контролируется амперметром. Зонд погружают на глубину 5—8 см. Вследствие небольшой глубины погружения сопротивление зонда велико, поэтому при измерениях обязательным является применение вольтметра с очень высоким внутренним сопротивлением (электронной, электростатической систем). Потенциалы определяются в точках, находящихся друг от друга на расстоянии 0,8 м. За пределами заземляющего устройства по мере удаления от заземлителя расстояние постепенно увеличивают до 5 м.

Определение потенциалов в различных точках в аварийном режиме на основании результатов измерений может быть выполнено по формуле

$$U_{ав} = U_и \frac{I_з}{I_и} \ [В],$$

где $U_и$ — потенциал в данной точке при токе измерения $I_и$; $I_з$ — ток, проходящий через испытываемый заземлитель в аварийном режиме, А.

Характер распределения потенциалов практически почти не зависит от значения тока, проходящего через заземлитель.

Измерение потенциалов может быть также выполнено с помощью измерителя заземления МС-08. Подключают прибор так же, как и для измерения сопротивления заземлителя. Сначала зонд помещают в зоне нулевого потенциала и измеряют сопротивление заземлителя R_x. Затем зонд устанавливают в точке, потенциал которой надо определить, и повторяют измерение. Потенциал в этой точке определяется из выражения

$$U_{\text{и}} = \left(1 - \frac{R_{\text{т}}}{R_x}\right) 100 \ [\%],$$

где $R_{\text{т}}$— показания измерителя заземления при измерениях в точке, потенциал которой определяется.

Глава XVI

АППАРАТЫ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В

Объем испытаний

Согласно ПУЭ, объем пусконаладочных испытаний для аппаратов напряжением до 1000 В следующий.

1. Измерение сопротивления изоляции. Значения сопротивления изоляции аппаратов должны быть не ниже приведенных в табл. III.4.

2. Испытание повышенным напряжением промышленной частоты. Значение испытательного напряжения изоляции аппаратов, их катушек и вторичных цепей со всеми присоединенными аппаратами принимается равным 1000 В. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

3. Проверка действия максимальных, минимальных или независимых расцепителей автоматов с номинальным током 200 А и более. Пределы работы расцепителей должны соответствовать заводским данным.

4. Проверка работы контакторов и автоматов при пониженном и номинальном напряжениях оперативного тока. Значения напряжений и количество операций при испытании контакторов и автоматов многократными включениями и отключениями приведены в табл. XVI. 1.

Таблица XVI.1. **Напряжения срабатывания и количество операций при испытании контакторов и автоматов многократными включениями и отключениями**

Операция	Количество	Отклонение напряжения на шинах оперативного тока от номинального, %
Включение	5	90
Включение и отключение	5	100
Отключение	10	80

5. Проверка релейной аппаратуры. Проверка реле защиты, управления, автоматики, сигнализации и других устройств производится в соответствии с действующими инструкциями. Пределы срабатывания реле на рабочих уставках должны соответствовать расчетным данным.

Автоматические выключатели серии А3100

Уставки расцепителей автоматов серии А3100 не регулируются. После калибровки расцепителей на заводе-изготовителе их крышки опечатываются. На месте установки автоматов проверяется соответствие фактических уставок расцепителей их номинальным данным для оценки пригодности автоматов для эксплуатации.

Начальные токи срабатывания расцепителей или тепловых элементов комбинированных расцепителей при нагрузке одновременно всех полюсов автомата из холодного состояния при температуре окружающей среды +25°С, а также время остывания теплового элемента приведены в табл. XVI. 2.

Таблица XVI.2. **Кратности токов и время срабатывания и остывания тепловых элементов автоматов серии А3100**

Тип автомата	Время срабатывания, ч, при		Время, ч, в течение которого элемент не срабатывает при $\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1,1$	Время остывания, мин
	$\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1,35$	$\frac{I_{исп}}{I_{ном}} = 1,45$		
А3110	—	1	2	2
А3120	—	1	2	2,5
А3130	—	1	3	3
А3140	—	1	4	4
А3160	2	—	2	1

Проверку тепловых элементов расцепителей автоматов рекомендуется проводить в такой последовательности.

1. Проверка тепловых элементов на срабатывание при пополюсной нагрузке испытательным током, равным двух- или трехкратному номинальному току расцепителя автомата.

2. Проверка характеристик тепловых элементов при одновременной нагрузке всех полюсов двухкратным (для автоматов А3160 и А3110) и трехкратным (для автоматов А3120, А3130, А3140) током. Время срабатывания расцепителя должно находиться в пределах, указанных в табл. XVI.3.

3. Проверка начального тока срабатывания автоматов, у которых при проверке двух- или трехкратным током время срабатывания не совпадает с данными табл. XVI.3.

Проверка электромагнитных элементов производится испытательным током для каждого полюса автомата отдельно. При проверке электромагнитных расцепителей испытательный ток от нагрузочного устройства устанавливается на 30% ниже тока уставки для автомата А3110 и на 15% ниже тока уставки остальных автоматов. При этом токе автомат не должен отключаться. Затем испытательный ток повышают до отключения автомата. Ток срабатывания не должен превышать ток уставки больше чем на 30% для автоматов А3110 и на 15% — для остальных автоматов.

Электромагнитные элементы комбинированных расцепителей в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя следует проверять следующим образом.

К нагрузочному устройству подключают эквивалентное сопротивление, равное полному сопротивлению (суммарному сопротивлению теплового элемента, электромагнитного и коммутирующих контактов) одного полюса испытываемого автомата. Регулирующим устройством и амперметром, включаемым в цепь эквивалентного сопротивления, устанавливают ток на 30% ниже уставки для автомата типа А3110 и на 15% ниже — для прочих автоматов. Не изменяя значения установившегося испытательного тока, от нагрузочного устройства отключают эквивалент-

ное сопротивление. Вместо него поочередно включают все полюсы автомата, при этом автомат не должен отключаться. После этого эквивалентное сопротивление вновь присоединяют к нагрузочному устройству и устанавливают значение испытательного тока на 30% выше тока уставки — для автоматов типа А3110 и на 15% — для прочих автоматов. Затем, не изменяя значения установившегося испытательного тока, отключают от нагрузочного устройства эквивалентное сопротивление и поочередно включают все полюсы автомата. В этом случае автомат отключается под действием электромагнитных элементов. Чтобы убедиться в этом, после каждого отключения необходимо (пока не остыли тепловые элементы)

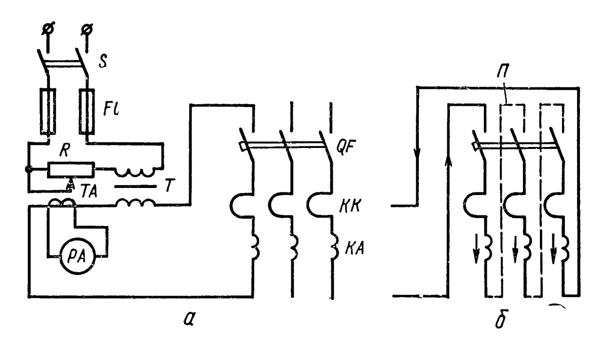


Рис. XVI.1. Схемы проверки тепловых и электромагнитных расцепителей автоматических выключателей серии А3100.

а — проверка при пополюсной нагрузке; *б* — проверка при одновременной нагрузке всех полюсов; *S* — рубильник; *FU* — предохранители; *R* — реостат; *T* — нагрузочный трансформатор; *TA* — трансформатор тока; *QF* — испытываемый автоматический выключатель с тепловым расцепителем *KK* и электромагнитным расцепителем *KA*; *П* — перемычка.

пытаться включить автомат вручную. Если автомат включается нормально, значит, он был отключен от электромагнитного элемента. При срабатывании теплового элемента повторное включение автомата не происходит.

Схемы испытания расцепителей автоматов приведены на рис. XVI.1.

Дистанционный расцепитель автомата должен четко срабатывать при напряжении, составляющем 75—105% номинального.

Автоматические выключатели серии АП-50

Проверка расцепителей автоматов АП-50 проводится аналогично проверке выключателей серии А3100. Токи срабатывания электромагнитных расцепителей автоматов АП-50 приведены в табл. XVI.4, защитные характеристики автоматов — на рис. XVI.2.

Пределы регулирования номинального тока уставки тепловых расцепителей связаны с номинальными токами уставки следующим образом:

Ток уставки, А	1,6	2,5	4	6,4
Пределы регулирования, А	1—1,6	1,5—2,5	2,5—4	4—6,4
Ток уставки, А	10	16	25	40	50
Пределы регулирования, А	6,4—10	10—16	16—25	25—40	30—50

Таблица XVI.3. **Характеристики тепловых элементов при одновременной и трехкратным (типы А3120, А3130 и А3140) током**

Тип автомата	Номинальный ток расцепителя, А	Испытательный ток, А, при различной температуре				
		0	5	10	15	20
А3160	15	34	33	32	32	31
	20	45	44	43	42	41
	25	57	56	54	53	51
	30	67	66	64	63	62
	40	90	88	86	84	82
	50	114	112	109	106	103
А3110	15	37	35	34	33	32
	20	48	46	44	43	42
	25	59	57	55	54	52
	30	74	71	62	66	63
	40	96	91	89	86	83
	50	114	111	109	106	103
	60	137	133	131	127	124
	70	157	154	151	150	144
	85	190	187	187	182	174
	100	228	224	212	212	206
А3120	15	50	50	49	48	46
	20	67	66	65	64	62
	25	84	83	81	80	77
	30	101	99	97	96	92
	40	134	132	130	128	123
	50	168	165	162	161	154
	60	202	198	194	193	185
	80	269	264	259	257	246
	100	336	330	324	321	306
А3130	120	403	396	389	385	369
	140	470	462	454	449	431
	170	571	561	551	546	523
	200	672	660	648	642	615
А3140	250	840	825	810	803	769
	300	1008	990	972	963	923
	350	1176	1155	1134	1124	1076
	400	1344	1340	1296	1284	1230
	500	1680	1650	1620	1605	1538
	600	2016	1980	1944	1926	1845

нагрузке всех полюсов автомата двукратным (тигы А3160 и А3110)

окружающего воздуха, °С				Предельное время срабатывания при одновременной нагрузке всех полюсов испытательным током, с	Максимальное время нахождения автомата под испытательным током, с
25	30	35	40		
30	29	29	28	15—20	40
40	39	38	37	18—23	45
50	49	47	46	19—27	50
60	59	57	55	25—35	70
80	78	76	74	35—45	90
100	97	94	91	58—78	150
30	29	27	25	19—27	50
40	38	37	35	27—37	70
50	48	47	45	35—45	90
60	57	54	50	55—65	130
80	77	74	70	50—80	160
100	97	90	90	80—100	200
120	116	113	109	70—90	180
140	136	133	129	75—95	190
170	166	162	156	110—140	240
200	194	187	180	100—150	240
45	44	43	41	18—22	45
60	59	57	55	16—22	45
75	73	71	69	24—30	60
90	88	85	83	28—38	70
120	117	114	110	40—50	100
150	146	143	138	50—60	120
180	176	171	166	50—60	120
240	234	228	221	70—80	160
300	293	285	276	60—70	140
360	351	342	331	65—75	150
420	410	399	386	65—75	150
510	497	485	469	68—78	150
600	585	570	552	78—88	170
750	731	713	690	60—70	140
900	878	855	828	65—75	150
1050	1024	998	966	65—75	150
1200	1170	1140	1104	50—60	120
1500	1463	1425	1380	50—60	120
1800	1755	1710	1656	65—75	150

Таблица XVI.4. **Ток мгновенного срабатывания, А, электромагнитных расцепителей автоматов АП-50**

Номинальный ток уставки, А	Переменный ток при частоте, Гц			Постоянный ток
	50	200	400	
1,6	11	15	16,5	14
2,5	17,5	23,5	25	22
4	28	30	34	36
6,4	45	50	52	57
10	70	80	85	90
16	110	125	150	140
25	175	—	—	320
40	280	—	—	352
50	350	—	—	440

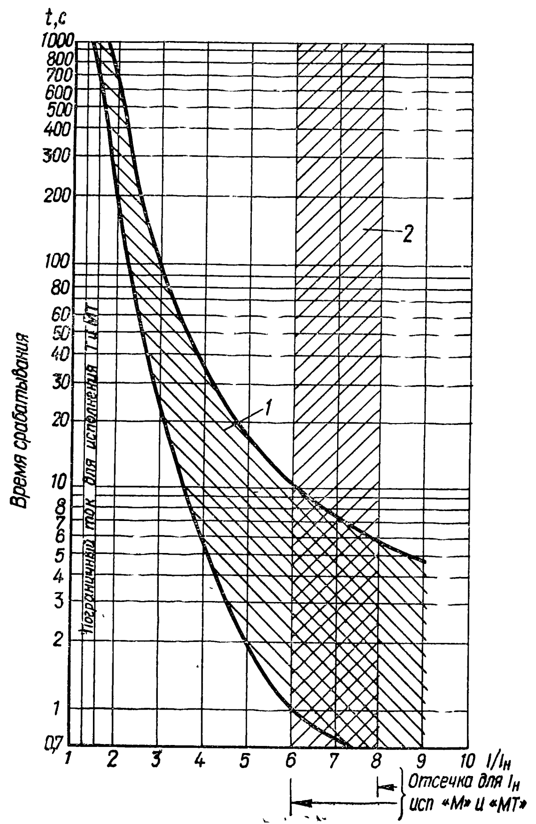


Рис. XVI.2. Защитные характеристики автоматических выключателей серии АП-50:

1 — зона разброса срабатываний для теплового расцепителя; *2* — зона разброса срабатываний для электромагнитного расцепителя.

Тепловые расцепители не срабатывают в течение 1 ч при токе нагрузки, составляющем 1,1 тока уставки, срабатывают не более чем через 30 мин при токе нагрузки, составляющем 1,35 тока уставки, и за 1—10 с, если ток нагрузки в 6 раз больше тока уставки.

Уставку автомата регулируют рычагом на механизме свободного расцепления автомата. Время остывания теплового элемента после срабатывания расцепителя составляет не более 2 мин.

Автоматические выключатели серии АЕ-2000

Испытания выключателей серии АЕ-2000 проводятся аналогично испытаниям выключателей серии А3100. Допустимый диапазон срабатываний выключателей с комбинированными расцепителями должен соответствовать защитной характеристике, приведенной на рис. XVI.3.

Электромагнитные расцепители проверяются аналогично выключателям серии А3100, при этом выключатели серии АЕ-2000 не должны срабатывать при испытательном токе на 20% ниже тока уставки и должны четко срабатывать при испытательном токе на 20% выше тока уставки.

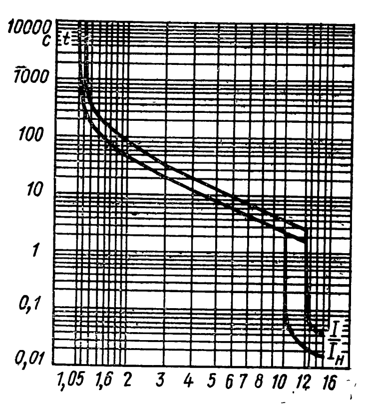


Рис. XVI.3. Защитная характеристика автоматических выключателей серии АЕ-2000.

Автоматические выключатели серии А3700

Тепловые и электромагнитные расцепители калибруются на заводе-изготовителе и в процессе наладки и эксплуатации регулировке не подлежат. При наладке производится проверка их работоспособности. Проверка работоспособности тепловых расцепителей проводится при закрытой крышке и рабочем положении выключателя трехкратным номинальным током расцепителя. Проверка производится пополюсно однофазным переменным током. Время работы теплового расцепителя до отключения выключателя при проверке его указанным значением тока от начального значения температуры расцепителя (окружающего воздуха) 40° С должно соответствовать оптимальному времени, указанному в табл. XVI.5. Если температура окружающего воздуха отличается от 40°С, то для обеспечения отключения выключателя за время, указанное в табл. XVI.5, значение испытательного тока должно приниматься по табл. XVI.6 для выключателей А3710 и по табл. XVI.7 для выключателей А3720, А3730 и А3740. При проверке допускается отклонение времени отключения выключателя от оптимального до максимального значения. Если за максимально допустимое время, указанное в табл. XVI.5, выключатель не отключился, то он подлежит замене или ремонту. Если неисправен тепловой расцепитель, то на выключателях I и II величин допускается замена теплового расцепителя, при неисправности теплового расцепителя на выключателях III и IV величин выключатель подлежит замене.

Проверка работоспособности электромагнитных расцепителей проводится пополюсно переменным или постоянным током (в зависимости от того, для какого тока предназначен выключатель). Однако из-за

Таблица XVI.5. **Характеристики тепловых расцепителей автоматических выключателей серии А3700 при пополюсной проверке трехкратным номинальным током**

Тип выключателя	Номинальный ток теплового расцепителя, А	Сечение кабеля, мм²	Оптимальное время срабатывания при трехкратном номинальном токе и температуре окружающей среды 40 °С, с	Максимально допустимое время протекания трехкратного номинального тока, с, не более
А3710	16	1,5	22—25	70
	20	2,5	44—51	100
	25	2,5	61—68	130
	32	4,0	50—58	130
	40	6,0	37—49	100
	50	10	49—54	100
	63	10	38—45	100
	80	16	31—38	70
	100	25	50—57	130
	125	35	32—39	70
	160	50	69—75	130
А3720	160	50	50—57	130
	200	70	45—51	130
	250	95	55—73	130
А3730 и А3740	250	95	23—28	100
	320	70×2	30—35	100
	400	95×2	50—55	100
	500	70×3	65—75	190
	630	95×3	65—75	190

трудности изготовления требуемых нагрузочных устройств постоянного тока допускается проверка работоспособности электромагнитных расцепителей постоянного тока от нагрузочных устройств переменного тока. Проверка производится следующим образом: регулировочным устройством быстро увеличивают ток до значения, превышающего на 15 % ток срабатывания электромагнитного расцепителя, указанный на щитке выключателя, при этом выключатель должен отключиться. Затем отключают ток нагрузочного устройства, включают выключатель и, не изменяя положения ручек регулировочного устройства, включают толчком ток от нагрузочного устройства; при этом выключатель должен отключиться. Не изменяя значения тока, проверяют работоспособность электромагнитных расцепителей других полюсов. Срабатывание электромагнитного расцепителя каждого полюса и отключение выключателя должны происходить при токе уставки, указанном на щитке, с допустимыми отклонениями ± 15 % для новых выключателей за время не более 0,04 с. Для выключателей, бывших длительное время в эксплуатации, отклонения тока срабатывания могут достигать ± 30 %. При проверке работоспособности электромагнитных расцепителей выключателей постоянного тока переменным током отклонения тока срабатывания могут превышать указанные.

Таблица XVI.6. **Значения токов проверки тепловых расцепителей автоматических выключателей серии А3710 при различных температурах окружающей среды**

Температура окружающей среды, °С	Ток проверки теплового расцепителя, А, выключателя А3710 при номинальном токе теплового расцепителя, А										
	16	20	25	32	40	50	63	80	100	125	160
10	54	67	84	110	141	175	212	269	339	424	538
12	53	67	83	109	139	174	210	267	337	421	534
14	53	66	83	108	138	172	209	265	334	418	530
16	53	66	82	107	137	171	207	263	332	415	527
18	52	65	82	106	135	169	206	261	329	411	523
20	52	65	81	105	134	167	204	259	327	408	519
22	51	64	80	104	132	166	203	257	324	405	515
24	51	64	80	103	131	164	201	255	321	402	511
26	51	63	79	103	130	162	199	253	319	398	507
28	50	63	78	102	128	160	198	252	316	395	504
30	50	62	78	100	127	159	196	250	313	392	500
32	49	62	77	100	126	157	195	248	311	388	495
34	49	61	76	99	124	155	193	246	308	385	492
36	48	61	76	98	123	153	192	244	305	381	488
38	48	60	75	97	121	151	190	242	302	378	483
40	48	60	75	96	120	150	189	240	300	375	480

Таблица XVI.7. **Значения токов проверки тепловых расцепителей автоматических выключателей серий А3720, А3730 и А3740 при различных температурах окружающей среды**

Температура окружающей среды, °С	Ток проверки теплового расцепителя, А, выключателя							
	А3720			А3730 и А3740				
	при номинальном токе теплового расцепителя, А							
	160	200	250	250	320	400	500	630
10	536	679	849	856	1106	1376	1698	2141
12	532	675	843	849	1097	1366	1686	2124
14	529	669	837	843	1087	1355	1674	2109
16	525	664	831	836	1078	1344	1658	2089
18	521	659	824	829	1068	1332	1647	2075
20	518	654	818	822	1058	1320	1631	2055
22	514	649	811	815	1050	1308	1619	2039
24	510	643	804	807	1039	1296	1604	2019
26	506	638	798	800	1030	1286	1592	2005
28	503	633	791	793	1020	1275	1582	1994
30	499	627	784	787	1011	1261	1571	1979
32	495	622	777	780	1000	1248	1556	1960
34	491	616	771	772	991	1246	1541	1943
36	487	610	763	765	980	1224	1527	1920
38	483	605	756	757	970	1212	1515	1909
40	480	600	750	750	960	1200	1500	1890

Для выключателей, имеющих кроме электромагнитного тепловой расцепитель, определяют, каким расцепителем отключен выключатель, таким же образом, как и для выключателей серии А3100.

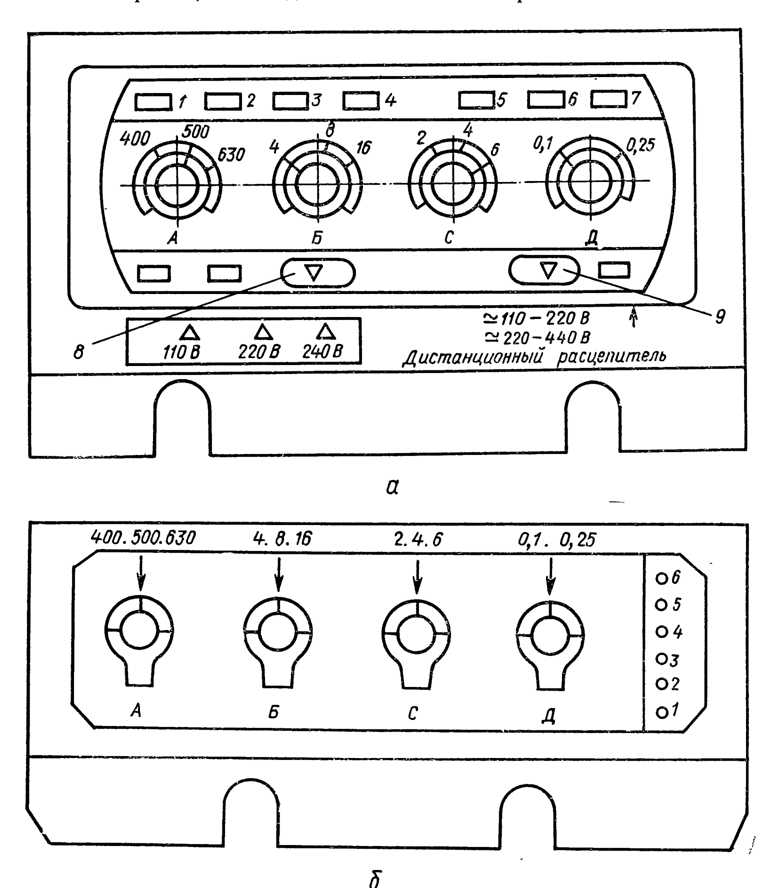


Рис. XVI.4. Общий вид лицевой стороны БУРП автоматических выключателей серии А3700:

а — ненагревостойкого исполнения; *б* — нагревостойкого исполнения; *А*, *Б*, *С*, *Д* — ручки для регулирования и выполнения уставок номинального рабочего тока расцепителя, времени срабатывания в зоне перегрузки, тока срабатывания отсечки, времени срабатывания отсечки (на выключателях селективного исполнения) соответственно; *1*—*7* — контрольные гнезда; *8*, *9* — переключатели напряжения питания полупроводникового расцепителя постоянного тока и независимого расцепителя соответственно.

При проверке электромагнитных расцепителей выключателей переменного тока с полупроводниковыми и электромагнитными расцепителями необходимо предварительно снять блок управления полупроводникового расцепителя и закоротить вторичные обмотки трансформаторов тока, установив в розетку штепсельного разъема вилку с закороченными контактами А1-Б1, А2-Б2, А3-Б3.

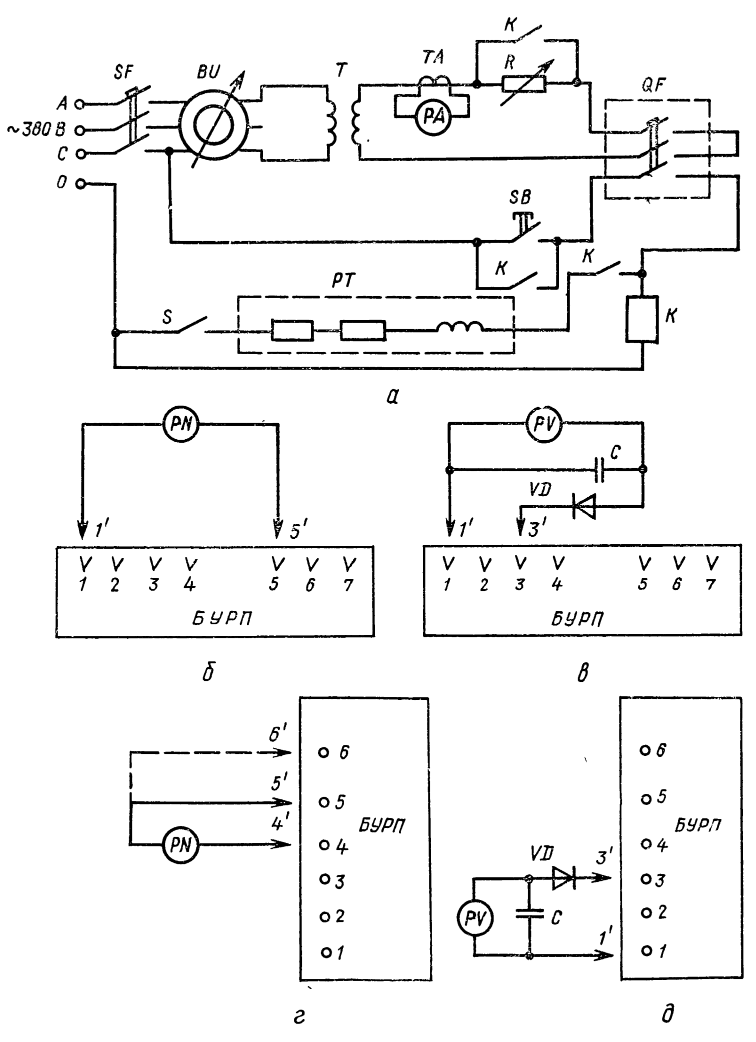


Рис. XVI.5. Схемы проверки и выполнения уставок на БУРП выключателей переменного тока серии А3700:

а — схема подключения источника регулируемого тока к выключателю; *б* — схема подключения осциллографа к БУРП ненагревостойкого исполнения; *в* — схема подключения вольтметра к БУРП ненагревостойкого исполнения без защиты в зоне перегрузки; *г* — схема подключения осциллографа к БУРП нагревостойкого исполнения; *д* — схема подключения вольтметра к БУРП нагревостойкого исполнения без защиты в зоне перегрузки; *QF* — испытываемый автоматический выключатель; *BU* — индукционный регулятор; *K* — контактор переменного тока; *SB* — кнопка; *V* — вольтметр (электронный типа А4-М2 или электростатический типа С-50/2).

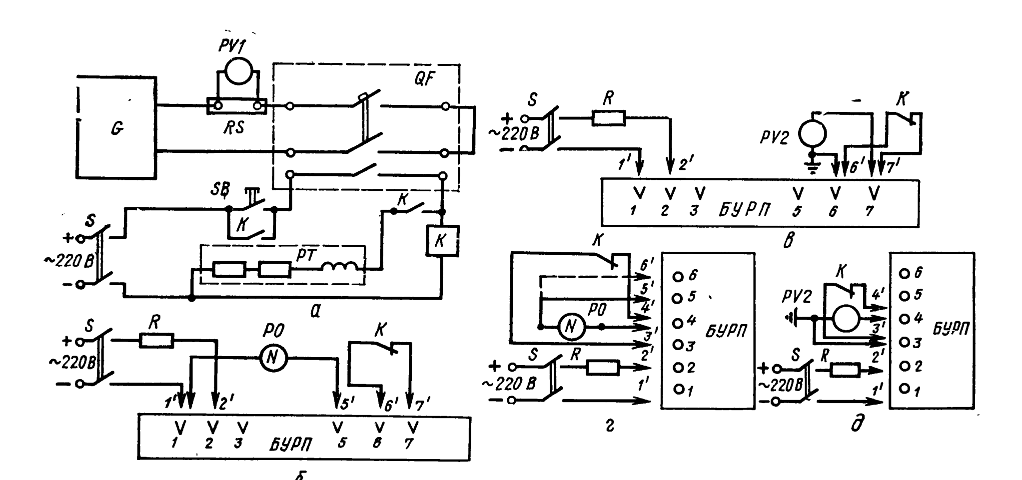


Рис. XVI.6. Схемы проверки и выполнения уставок на БУРП выключателей постоянного тока серии А3700:

а — схема подключения источника регулируемого тока к выключателю; *б* — схема для установки уставок на БУРП ненагревостойкого исполнения с защитой в зоне перегрузки; *в* — схема для установки уставки номинального рабочего тока на БУРП ненагревостойкого исполнения без защиты в зоне перегрузки; *г* — схема для установки уставок на БУРП нагревостойкого исполнения с защитой в зоне перегрузки; *д*—схема для установки уставки номинального рабочего тока на БУРП нагревостойкого исполнения без защиты в зоне перегрузки; *QF* — испытываемый автоматический выключатель; *RS* — шунт 75 мВ; *PV1* — милливольтметр для измерения тока; *G* — регулируемый источник постоянного тока; *K* — реле управления; *PV2* — вольтметр (электронный типа А4-М2 или электростатический типа С-50/2); *SB* — кнопка; *PO* — электронный осциллограф; *PT* — электросекундомер; *R* — резистор ПЭВ-10-10к; *S* — рубильник.

Методика настройки полупроводниковых расцепителей приводится для расцепителей ненагревостойкого исполнения, выпускавшихся до 1980 г., и нагревостойкого исполнения, выпускаемых с 1980 г. На рис. XVI.4 приведены виды лицевой стороны блока управления полупроводникового расцепителя (БУРП) обоих исполнений.

При наладке выключателей с полупроводниковыми расцепителями необходимо проверить правильность установки переключателей напряжения питания полупроводникового расцепителя постоянного тока и напряжения цепи независимого расцепителя в положения, соответствующие рабочему напряжению главной цепи и оперативного тока.

Схемы для проверки и калибровки уставок на БУРП выключателей переменного и постоянного тока приведены на рис. XVI.5, XVI.6. Резистор R в схеме рис. XVI.5 подбирается так, чтобы при его

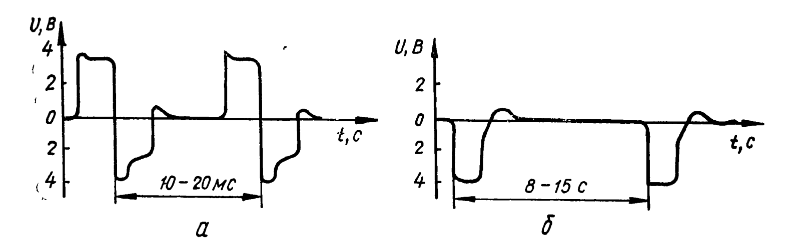


Рис. XVI.7. Вид импульсов на экране осциллографа при установке расчетной уставки номинального рабочего тока на БУРП ненагревостойкого исполнения выключателей серии А3700:

а — «сброс» — установленная уставка больше протекающего тока; *б* — «запись» — установленная уставка равна или меньше тока, протекающего через выключатель.

шунтировании ток в проверяемом выключателе увеличивался от значения (0,7 ÷ 1,0) $I_{н.р}$ до значения, превышающего не менее чем на 20 % уставку тока срабатывания отсечки. Вместо указанной схемы может применяться другая с использованием вместо резистора и индукционного регулятора BU двух регуляторов напряжения типа РНО.

Калибровка расчетных уставок на БУРП ненагревостойкого исполнения с защитой в зоне перегрузки. Калибровку расчетной уставки номинального рабочего тока расцепителей переменного и постоянного тока выполняют в такой последовательности: включают проверяемый выключатель и от источника регулируемого тока устанавливают ток, равный 1,25 $I_{н.р}$, где $I_{н.р}$ — требуемый по расчету номинальный рабочий ток полупроводникового расцепителя. При этом на экране осциллографа должны появиться разнополярные импульсы амплитудой 4—6 В и частотой 50—150 Гц (рис. XVI.7, *а*). Затем медленно вращают ручку «Ном. ток» против часовой стрелки до исчезновения разнополярных импульсов, свидетельствующего о том, что уставка соответствует требуемому номинальному рабочему току. После исчезновения разнополярных импульсов на экране осциллографа могут появиться одиночные однополярные импульсы с интервалом 8—15 с и амплитудой 4—6 В (рис. XVI.7,*б*). Для проверки правильности выставленной уставки по каждому полюсу поочередно пропускают ток 1,2 $I_{н.р}$, а затем 1,3$I_{н.р}$. При токе 1,2$I_{н.р}$ на экране осциллографа должны наблюдаться разнополярные импульсы, которые должны отсутствовать при токе 1,3$I_{н.р}$.

Калибровка уставки выдержки времени в зоне перегрузки проводится в такой последовательности: устанавливают ручку «Время сраб. Перегрузка $6I_{н.р}$» в положение, ориентировочно соответствующее требуемой уставке времени срабатывания, а ручку «$I_{н.р}$. Короткое замыкание» — в крайнее положение по часовой стрелке; включают проверяемый выключатель и нагрузочным устройством устанавливают ток, равный $6I_{н.р}$ при проверке выключателей переменного тока и $5I_{н.р}$ при проверке выключателей постоянного тока, отключают нагрузочное устройство, не изменяя положения регулировочных устройств; включают нагрузочное устройство вместе с секундомером, выключатель должен отключиться с выдержкой времени, фиксируемой секундомером; вращением ручки «Время сраб. Перегрузка $6I_{н.р}$» в сторону уменьшения или увеличения и повторением указанных выше операций добиваются требуемой выдержки времени.

Калибровку уставки тока срабатывания отсечки проводят в такой последовательности: устанавливают ручку «$I_{н.р}$. Короткое замыкание» в крайнее положение по часовой стрелке, включают проверяемый выключатель и нагрузочным устройством устанавливают расчетный ток срабатывания отсечки; медленно вращают ручку «$I_{н.р}$. Короткое замыкание» против часовой стрелки до момента отключения выключателя; отключают нагрузочное устройство, не изменяя положения ручек регулировочного устройства, затем включают выключатель и нагрузочное устройство. Выключатель должен отключаться за время, не превышающее 1 с.

При настройке уставки отсечки должна быть исключена возможность отключения выключателя от электромагнитных расцепителей.

При калибровке уставки времени срабатывания отсечки селективных выключателей должно соблюдаться следующее условие: предварительно по двум полюсам выключателя в течение 1—2 с необходимо пропустить ток, равный 0,7—1,0 установленного на шкале значения номинального рабочего тока полупроводникового расцепителя, а затем толчком довести его до значения, превышающего не менее чем на 20 % уставку тока срабатывания отсечки. Указанное условие для выключателей переменного тока выполняется с помощью регулируемого резистора R, показанного на рис. XVI.5. Время измеряется от момента подачи тока, превышающего не менее чем на 20 % уставку тока срабатывания отсечки, до начала размыкания контактов выключателя.

Калибровка рабочей уставки выполняется в такой последовательности: ориентировочно устанавливают на шкале «Время сраб. Короткое замыкание» расчетную уставку времени срабатывания отсечки (все остальные ручки должны находиться на выполненных уставках); включают проверяемый выключатель и нагрузочным устройством устанавливают ток, превышающий не менее чем на 20 % ток срабатывания отсечки (для выключателей переменного тока сопротивление R необходимо отрегулировать таким образом, чтобы при установленном токе $(0{,}7 \div 1{,}0)I_{н.р}$ после срабатывания контактора K ток возрос до значения, превышающего не менее чем на 20 % ток срабатывания отсечки); снижают ток до нуля, после чего устанавливают ток, равный $(0{,}7 \div 1{,}0)I_{н.р}$, на время 1—2 с и нажимают кнопку SB, при этом выключатель должен отключиться с выдержкой времени, фиксируемой секундомером. Если измеренная выдержка времени не соответствует требуемой, проводят необходимую корректировку уставки на шкале и повторяют измерение в указанной выше последовательности.

Калибровка расчетных уставок на БУРП ненагревостойкого исполнения без защиты в зоне перегрузки. Калибровка расчетной уставки

номинального рабочего тока на БУРП переменного тока выполняется в такой последовательности: ручку «Ном. ток» устанавливают в крайнее положение по часовой стрелке, остальные ручки — в среднее положение, подсоединяют в соответствии со схемой электронный или электростатический вольтметр, включают выключатель и нагрузочное устройство и устанавливают ток, равный 3 $I_{н.\ р}$; медленно вращая ручку «Ном. ток» против часовой стрелки, добиваются показания 30 В на вольтметре, что соответствует уставке заданного номинального рабочего тока.

Калибровка расчетной уставки номинального рабочего тока на БУРП постоянного тока выполняется в такой же последовательности по схемам рис. XVI.6, *а* и *в*, при этом кроме ручки «Ном. ток» в крайнее положение по часовой стрелке устанавливается также ручка «$I/I_{н.\ р}$. Короткое замыкание», а показание вольтметра, соответствующее уставке заданного номинального рабочего тока, должно составить 18 В.

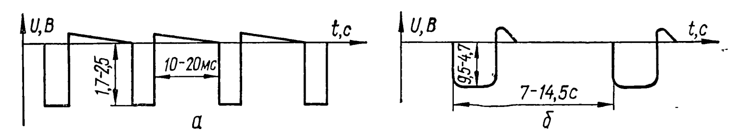


Рис. XVI.8. Вид импульсов на экране осциллографа при установке уставки номинального рабочего тока на БУРП нагревостойкого исполнения выключателей серии А3700:

а — вид импульсов и значение напряжения на гнездах контроля *4* и *5* при наличии перегрузки; *б* — вид импульсов и значение напряжения на гнездах контроля *4* и *6* при наличии перегрузки.

Калибровка остальных рабочих уставок на БУРП без защиты в зоне перегрузки производится так же, как на БУРП с защитой в зоне перегрузки.

Калибровка расчетных уставок на БУРП нагревостойкого исполнения с защитой в зоне перегрузки. Расчетную уставку номинального рабочего тока устанавливают в такой последовательности: устанавливают ручку «Ном. ток» в крайнее положение по часовой стрелке (остальные ручки должны быть в среднем положении), включают проверяемый выключатель и устанавливают ток, равный 1,25 расчетного номинального рабочего тока, при этом на экране осциллографа не должно быть сигнала; медленно поворачивают против часовой стрелки ручку «Ном. ток» до появления на экране осциллографа устойчивой последовательности одиночных импульсов амплитудой 1,7—2,5 В частотой 50—100 Гц (рис. XVI.8,*а*). Указанное положение регулировочной ручки соответствует расчетной уставке номинального рабочего тока. Правильность выполненной уставки проверяют поочередным пропусканием по полюсам выключателя тока, равного $1{,}2I_{н.\ р}$, а затем $1{,}3I_{н.\ р}$. При токе $1{,}2I_{н.\ р}$ сигналы на экране осциллографа должны отсутствовать, при токе, равном $1{,}3I_{н.\ р}$, на экране должна наблюдаться устойчивая последовательность импульсов (см. рис. XVI. 8, *а*).

Проверка настройки максимальной выдержки времени выполняется следующим образом: после проверки расчетной уставки номинального рабочего тока осциллограф подключают к гнездам *4—6* БУРП и через выключатель пропускают ток, равный $1{,}3I_{н.\ р}$, при этом на экране осциллографа должно наблюдаться прохождение одиночных однополярных импульсов с интервалом 7—14,5 с (рис. XVI.8,*б*). При увели-

чении тока в цепи интервал между импульсами уменьшается, но количество импульсов остается практически прежним.

Калибровка и проверка остальных уставок выполняются так же, как на БУРП ненагревостойкого исполнения с защитой в зоне перегрузки.

Калибровка рабочих уставок на БУРП нагревостойкого исполнения без защиты в зоне перегрузки. Рабочая уставка номинального рабочего тока на БУРП переменного тока выполняется в такой последовательности: устанавливают ручку «А. Ном. ток» в крайнее положение по часовой стрелке, а ручки «$I/I_{н.р}$. Короткое замыкание» и «С. Короткое замыкание» в середину калибруемой зоны, включают проверяемый выключатель и устанавливают в его цепи ток, равный $3I_{н.\ р}$, медленно вращают ручку «А. Ном. ток» против часовой стрелки до показания вольтметра, равного 30 В. Указанное положение регулировочной ручки соответствует расчетной уставке номинального рабочего тока.

Расчетная уставка номинального рабочего тока на БУРП постоянного тока выполняется в следующем порядке: устанавливают ручку «А. Ном. ток» в крайнее положение по часовой стрелке, ручки «$I/I_{н.\ р}$. Короткое замыкание» и «С. Короткое замыкание» в середину шкалы, включают проверяемый выключатель и устанавливают в его цепи ток, равный $1{,}25I_{н.\ р}$, медленно вращают ручку «А. Ном. ток» против часовой стрелки до показания 12 В на вольтметре. Указанное положение регулировочной ручки соответствует расчетной уставке номинального рабочего тока.

Калибровка и проверка остальных расчетных уставок выполняются так же, как на БУРП ненагревостойкого исполнения.

Калибровку расчетных уставок номинального рабочего тока на БУРП переменного тока всех исполнений необходимо проводить поочередно для каждой пары последовательно соединенных полюсов выключателя.

Во время калибровки или проверки расчетных уставок необходимо следить за тем, чтобы нагрев токоведущих частей выключателя не превышал допустимой температуры. Допускается продолжительность протекания тока $6I_{н.\ в}$ через выключатель не более 20 с, а тока $10I_{н.\ в}$ — не более 10 с с последующим интервалом 20 мин.

При отсутствии нагрузочных устройств для выключателей постоянного тока допускается выставление уставок на БУРП производить без проверки первичным током. При этом должна быть проверена работоспособность БУРП. Проверка работоспособности БУРП постоянного тока может быть выполнена по схемам, приведенным на рис. XVI. 9. Проверка производится в такой последовательности: регулировочную ручку «$I_{н.\ р}$. Короткое замыкание» устанавливают в положение не менее «$3I_{н.\ р}$», включают проверяемый выключатель, подают напряжение на выключатель переключателем *S1*, включают переключатель *S2*. При этом выключатель с БУРП, имеющим защиту в зоне перегрузки, должен отключиться за время, не превышающее 14 мин. Повторно включают выключатель и нажимают кнопку *SB*, при этом выключатель должен отключиться за время не более 1 с.

Если выключатель не срабатывает, необходимо убедиться в исправности независимого расцепителя и надежности контактов штепсельного разъема БУРП. При исправности независимого расцепителя и надежных контактах штепсельного разъема необходимо заменить БУРП.

Проверка работоспособности расцепителя нулевого напряжения. Выключатель должен надежно отключаться при снижении напряжения на катушке расцепителя ниже 0,3 номинального при переменном и ниже 0,2 номинального при постоянном токе без возможности его включения; выключатель не должен отключаться при снижении напряжения до 0,55 номинального. Расцепитель не должен препятствовать включению выключателя при напряжении на катушке 0,85 номинального и выше.

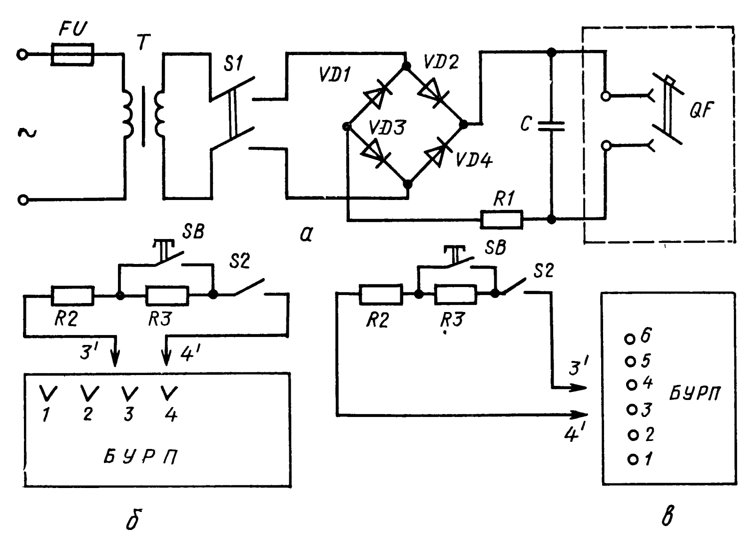


Рис. XVI.9. Схемы проверки работоспособности полупроводниковых расцепителей постоянного тока автоматических выключателей серии А3700:

а — схема подключения напряжения постоянного тока к выключателю; *б* — схема имитации сигнала на отключение на БУРП ненагревостойкого исполнения; *в* — схема имитации сигнала на отключение на БУРП нагревостойкого исполнения; *FU* — предохранитель 0,5 А; *T* — трансформатор разделительный 80 В · А 220/220 В; *S1, S2* — переключатели; *VD1—VD4* — диоды Д226Б; *R1* — резистор ПЭВ-10-10к; *C* — конденсатор К50-3-250-20; *R2* — резистор МЛТ-0,5-1к; *R3* — резистор МЛТ-0,5-20к; *SB* — кнопка; *QF* — испытываемый автоматический выключатель.

Автоматические выключатели серии АВМ

Проверку и настройку автоматов серии АВМ рекомендуется выполнять в следующем объеме: 1) внешний осмотр; 2) проверка контактной системы; 3) проверка четкости работы механизма свободного расцепления; 4) проверка действия электромеханического привода и схемы управления; 5) проверка действия независимого расцепителя и расцепителя минимального напряжения; 6) проверка характеристик максимальных расцепителей.

При внешнем осмотре проверяется целость деталей, состояние главных и блокировочных контактов и дугогасительных камер, а также соответствие проекту автомата и его расцепителей.

Силу нажатия контактов определяют пружинным динамометром. Для этого при полностью включенном автомате измеряют усилие,

необходимое для того, чтобы оттянуть контакт до освобождения проложенной между контактами полоски папиросной бумаги или до погасания включенной последовательно с контактами сигнальной лампы. Направление усилия должно быть перпендикулярно плоскости касания контактов. Начальное нажатие контактов определяют при полностью отключенном аппарате описанным выше образом, но бумажная полоска закладывается между контактом и упором.

Раствор контактов измеряется линейкой, штангенциркулем или шаблоном.

Провал контактов определяется в зависимости от конструктивного выполнения контактов измерением или перемещения подвижного контакта или соответствующего зазора во включенном положении между подвижным контактом и его упором.

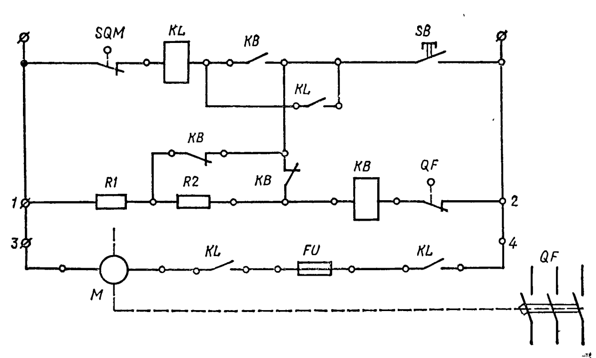


Рис. XVI.10. Принципиальная схема управления автоматическим выключателем с электромеханическим приводом.

Растворы, провалы, нажатие контактов выключателя должны соответствовать заводской инструкции.

Четкость работы механизма, обеспечивающего свободное расцепление автомата в любом положении подвижных контактов, проверяют пятикратным включением автомата своим приводом и отключением его либо вручную, либо независимым расцепителем.

Принципиальная схема управления автоматом серии АВМ с электромеханическим приводом приведена на рис. XVI.10.

При подаче напряжения на схему управления с отключенным автоматом срабатывает реле блокировки *KB*. Замыкание контактов кнопки включения или контактов другого аппарата приводит к срабатыванию реле управления *KL* в цепи включения. В результате через контакты *KL* подается напряжение на двигатель, включающий автомат. *KL* должно быть настроено на срабатывание при напряжении 85 % номинального, при котором достигается четкая работа привода. При включении автомата цепь обмотки реле *KB* размыкается блок-контактами *QF* автомата, однако обмотка *KL* получает питание через свои контакты, шунтирующие контакты *KB*, до срабатывания конечного выключателя *SQM*.

Схема управления исключает самопроизвольное повторное включение автомата при замкнутых контактах в цепи включения, если в процессе включения он отключился каким-либо расцепителем. В этом случае обмотка реле *KB* остается зашунтированной контактами аппарата

в цепи включения. Для того чтобы при этом не возникало короткого замыкания, предусмотрено сопротивление. Схема предусматривает невозможность включения приводного двигателя при включенном автомате. Длительность импульса на включение автомата должна быть не менее 1 с, но не более 30 с. Последнее значение определяется термической устойчивостью сопротивления.

Надежность работы электромеханического привода и схемы управления проверяют путем десятикратного включения и отключения автомата с 15-секундными интервалами между включениями (5 включений при номинальном и 5 включений при пониженном напряжении оперативного тока). При этом проверяется блокировка от повторного включения при длительном замыкании контактов в цепи включения, а также невозможность включения приводного электродвигателя при включенном автомате.

Для проверки действия независимого расцепителя измеряется минимальное напряжение надежного отключения автомата этим расцепителем, которое не должно превышать 50 % номинального.

Действие расцепителя минимального напряжения проверяется в следующих режимах. Расцепители должны отключать автомат при снижении напряжения до 30 % номинального и ниже. Расцепитель не должен препятствовать включению автомата с рукояткой или рычажным приводом при напряжении 70 % номинального и выше, а автомата с электромеханическим приводом — при напряжении 85 % номинального и выше.

Автоматы серии АВМ выпускаются со следующими исполнениями максимальной токовой защиты: неселективные — с максимальными расцепителями с обратнозависимой от тока выдержкой времени при перегрузках и мгновенным срабатыванием при токах короткого замыкания; селективные — с максимальными расцепителями с обратнозависимой от тока выдержкой времени при перегрузках и независимой от тока выдержкой времени при токах короткого замыкания.

Выдержка времени максимальных расцепителей с обратнозависимой от тока характеристикой создается с помощью часового механизма, а выдержка времени расцепителей с независимой характеристикой создается с помощью механического замедлителя расцепителя. При максимальной уставке часового механизма и токе, равном току наименьшей уставки на шкале перегрузок, выдержка времени составляет не менее 10 с.

Проверка максимальной токовой защиты автоматов заключается в определении тока трогания и времени срабатывания при этом токе максимальных расцепителей с обратнозависимой характеристикой, тока срабатывания максимальных расцепителей с независимой выдержкой времени и выдержки времени замедлителя расцепителя, а также возврата максимальных расцепителей в исходное положение при снижении тока. В соответствии с техническими условиями расцепитель должен вернуться в исходное положение без отключения автомата при снижении тока от значения, равного наименьшей уставке тока перегрузки, до 75 % номинального тока расцепителя, или от значения, равного наибольшей уставке тока перегрузки, до 100 % номинального тока расцепителя в обоих случаях по истечении 2/3 выдержки времени, соответствующей данной уставке на шкале перегрузок.

Для максимальных расцепителей допускается отклонение от номинального тока срабатывания не более чем на ±10 %. Отклонение времени отключения селективных автоматов при токах короткого замыкания от уставки выдержки времени допускается на ± 15 %.

Проверка максимальных расцепителей автоматов выполняется по схеме, приведенной на рис. XVI.11.

Регулировка токов срабатывания максимальных расцепителей производится изменением натяжения пружины. Для нормальной работы максимального расцепителя необходимо, чтобы раствор *А* (рис. XVI.12) магнитной системы был равен 17 мм для селективных выключателей и 13 мм для неселективных (устанавливается рычагом *10*).

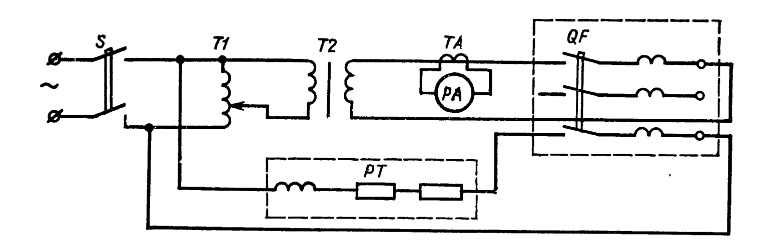


Рис. XVI.11. Схема проверки максимальных расцепителей автоматов серии АВМ:

S — рубильник; *T1* — автотрансформатор; *T2* — нагрузочный трансформатор; *TA* — измерительный трансформатор; *PT* — секундомер; *QF* — испытываемый автоматический выключатель.

Риска на колодке *4* должна устанавливаться против риски с цифрой 1 на корпусе часового механизма (регулировка осуществляется изменением длины тяги *3*). При выходе из зацепления часового механизма между бойком *9* и рычагом *2* отключающего валика *1* в селективных автоматах или бойком *8* и рычагом *10* отключающего валика *11* в неселективных автоматах должен оставаться зазор 1—1,5 мм. В момент отключения выключателя максимальным расцепителем через отключающий валик *1* зазор между бойком *8* и рычагом *10* должен оставаться равным 1—1,5 мм. Отключение выключателя максимальным расцепителем должно происходить раньше, чем якорь *7* дойдет до упора *5* на сердечнике *6*.

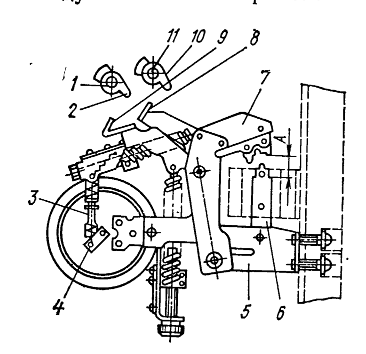


Рис. XVI.12. Максимальный расцепитель с часовым механизмом выключателей типов АВМ-4, АВМ-10.

При наладке выдвижных автоматов необходимо проверить: четкость работы механической блокировки, препятствующей разъединению и замыканию втычных контактов при включенном автомате; совпадение осей симметрии втычных контактов и контактных ножей по вертикали и горизонтали при вкатывании выключателя в ячейку; расстояние между втычными контактами и контактными ножами в нерабочем положении, которое должно быть не менее 30 мм; надежность касания заземляющих контактов, провал которых должен составлять 5—7 мм.

Автоматические выключатели переменного тока серии «Электрон»

При проведении наладки выключателей кроме испытаний, предусмотренных ПУЭ, рекомендуется выполнение следующих работ: 1) проверка соответствия выключателя проекту; 2) осмотр, очистка, затяжка доступных болтовых соединений, смазка; 3) проверка контактной системы; 4) проверка выключателя включением и отключением вручную; 5) проверка взаимодействия выдвижного выключателя и ячейки распределительного устройства; 6) проверка схемы управления; 7) проверка рабочих уставок встроенной максимальной токовой защиты (МТЗ).

При внешнем осмотре проверяют отсутствие внешних повреждений и следов коррозии, наличие пломбы на реле МТЗ, состояние заводской смазки.

Растворы, провалы, неодновременность касания контактов должны соответствовать заводской инструкции.

При проверке выключателя Э06 включением и отключением его вручную необходимо убедиться, что в отключенном положении выключателя отключающий валик при действии на него рукой вращается без затираний; после включения выключателя рукояткой ручного включения необходимо проверить надежность зацепления защелки механизма свободного расцепления (МСР) с отключающим валиком. При необходимости регулирование зацепления можно произвести изгибанием угольника через отверстие в панели выключателя, на которой установлен корпус МСР или при отсутствии отверстия нажатием вниз на пластины отключающего валика.

Производят поочередно отключение выключателя механической кнопкой, независимым расцепителем, расцепителем МТЗ, осторожно нажимая на якорь расцепителя и обращая при этом внимание на самовзвод МСР — надежное зацепление защелки МСР с отключающим валиком. Включая и отключая выключатель, необходимо убедиться в том, что включение контактной системы происходит мгновенно, подвижные части надежно фиксируются во включенном положении, включение происходит без заедания и задержки подвижных частей выключателя. Выключатель с электродвигательным приводом включают вручную, вращая маховик электродвигателя по направлению стрелки на маховике (вращение против стрелки запрещается) и проверяют надежность переключения контактов конечного выключателя.

При проверке выключателей Э16, Э25, Э40 необходимо убедиться, что в отключенном положении выключателя отключающий валик при действии на него рукой вращается без затираний и четко возвращается в исходное положение, а защелка свободно проходит в паз отключающего валика. Проверяют свободный ход на втулке рычага переключения конечного выключателя при незаведенной включающей пружине, подготавливают выключатель к включению рукояткой ручного включения, для чего необходимо вставить рукоятку в гнездо приводного рычага и возвратно-поступательными движениями завести пружину до срабатывания конечного выключателя. Включают выключатель, для чего вставляют рукоятку в гнездо буфер-срыва и движением вверх выводят буфер-срыв из зацепления с барабаном; при правильной работе выключателя включение должно быть мгновенным, и выключатель должен надежно фиксироваться во включенном положении. Необходимо убедиться в надежности зацепления защелки МСР с отключающим валиком и при необходимости отрегулировать зацепление изгибом пластины на отключающем валике. Отключают выключатель поочередно

Таблица XVI.8. **Калибровочные значения первичных и вторичных токов**

Калибруемая уставка реле МТЗ по току	Значения токов (I_1 и I_2), А,			
	250 А		400 А	
	I_1	I_2	I_1	I_2
0,8	200	0,32	320	0,32
1	250	0,42	400	0,41
1,25	312,5	0,52	500	0,52
2	500	0,84	800	0,83
3	750	1,26	1200	1,24
5	1250	2,08	2000	1,96
6	1500	2,44	2400	2,27
7	1750	2,81	2800	2,52
10	2500	3,72	4000	3,10

механической кнопкой отключения, независимым расцепителем, расцепителем МТЗ, осторожно нажимая на якорь расцепителя; отключение должно происходить быстро, без задержки.

При проверке взаимодействия выдвижного выключателя и ячейки распределительного устройства определяют: четкость работы механической блокировки, препятствующей вкатыванию включенного выключа-

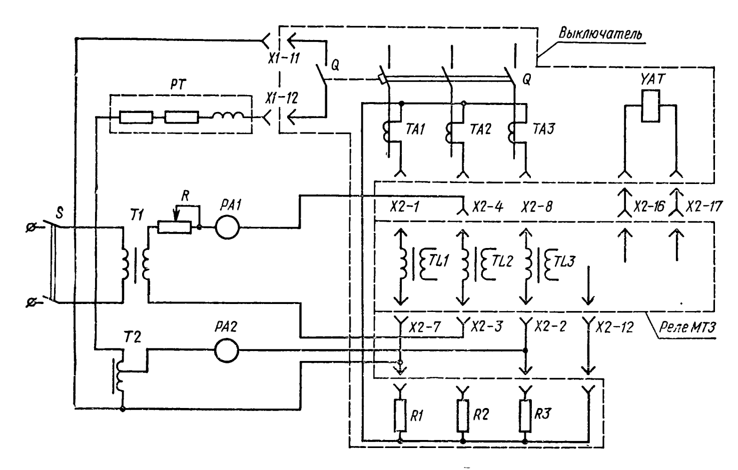


Рис. XVI.13. Схема проверки уставок реле МТЗ выключателей серии «Электрон» вторичным током.

теля в рабочее положение и выкатыванию его из рабочего положения; четкость фиксации выключателя в рабочем и контрольном положениях; совпадение осей симметрии втычных контактов и контактных ножей по вертикали и горизонтали при вкатывании выключателя в ячейку; расстояние между втычными контактами и контактными ножами в контрольном положении выключателя, которое должно быть не менее 15 мм; надежность касания заземляющих контактов выключателя с контактами ячейки в рабочем и контрольном положениях.

для выключателей с номинальным током МТЗ					
630 А		800 А		1000 А	
I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2
504	0,29	640	0,31	800	0,33
630	0,37	800	0,39	1000	0,41
787,5	0,46	1000	0,49	1250	0,52
1260	0,75	1600	0,78	2000	0,81
1890	1,12	2400	1,07	3000	1,20
3150	1,77	4000	1,73	5000	1,77
3780	2,03	4800	1,99	6000	1,95
4410	2,26	5600	2,22	7000	2,13
6300	2,82	8000	2,78	—	

Проверка рабочих уставок реле МТЗ. Для проверки рабочих уставок реле МТЗ при отсутствии мощного нагрузочного устройства рекомендуется метод проверки вторичным током. Метод разработан Куйбышевским ВНИИпроектэлектромонтаж и ПНУ треста «Волгоэлектромонтаж» Минмонтажспецстроя.

Схема проверки уставок реле МТЗ вторичным током приведена на рис. XVI.13. В схеме использованы следующие приборы: 1) автотрансформатор ЛАТР-1М (*Т2*); 2) трансформатор 220/36 В, 25 В · А (*Т1*); 3) комбинированный прибор с пределами измерения не менее 25 В с внутренним сопротивлением не менее 5 кОм/В; 4) амперметры для измерения тока 0,4 А (*РА1*) и для измерения тока от 0,2 до 5 А (*РА2*); 5) электросекундомер (*РТ*); 6) резистор (*R*) 100—300 Ом, 0,5—1 А; 7) двухполюсный рубильник (*S*); 8) дополнительный штепсельный разъем *X*.

Калибровочные значения вторичных токов, используемые при проверке уставок реле, приведены в табл. XVI.8—XVI.11.

Проверка рабочих уставок выполняется в такой последовательности.

Таблица XVI.9. **Калибровочные значения первичных и вторичных токов МТЗ выключателей серии «Электрон» Э16**

Калибруемая уставка реле МТЗ по току	Значения токов (I_1 и I_2), А, для выключателей с номинальным током МТЗ					
	1000 А		1250 А		1600 А	
	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2
0,8	800	0,32	1000	0,32	1280	0,31
1	1000	0,41	1250	0,41	1600	0,39
1,25	1250	0,52	1562,5	0,53	2000	0,48
2	2000	0,84	2500	0,85	3200	0,77
3	3000	1,29	3750	1,23	4800	1,09
5	5000	2,06	6250	1,96	8000	1,73
6	6000	2,40	7500	2,29	9600	2,03
7	7000	2,75	8750	2,66	11 200	2,31

Таблица XVI.10. **Калибровочные значения первичных и вторичных токов МТЗ выключателей серии «Электрон» Э25**

Калибруемая уставка реле МТЗ по току	Значения токов (I_1 и I_2), А, для выключателей с номинальным током МТЗ									
	1250 А		1600 А		2000 А		2500 А		3200 А	
	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2
0,8	1000	0,32	1280	0,31	1600	0,33	2000	0,32	2560	0,33
1	1250	0,41	1600	0,39	2000	0,42	2500	0,39	3200	0,41
1,25	1562,5	0,53	2000	0,48	2500	0,52	3125	0,48	4000	0,50
2	2500	0,85	3200	0,77	4000	0,82	5000	0,74	6400	0,75
3	3750	1,23	4800	1,09	6000	1,19	7500	1,08	9600	1,09
5	6250	1,96	8000	1,73	10 000	1,85	12 500	1,69	16 000	1,75
6	7500	2,29	9600	2,03	12 000	2,19	15 000	2,04	19 200	2,12
7	8750	2,66	11 200	2,31	14 000	2,43	17 500	2,41	—	—

Таблица XVI.11. **Калибровочные значения первичных и вторичных токов МТЗ выключателей серии «Электрон» Э40**

Калибруемая уставка реле МТЗ по току	Значения токов (I_1 и I_2), А, для выключателей с номинальным током МТЗ									
	2000 А		2500 А		3200 А		4000 А		5000 А	
	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2	I_1	I_2
0,8	1600	0,31	2000	0,33	2560	0,32	3200	0,31	4000	0,32
1	2000	0,39	2500	0,41	3200	0,40	4000	0,39	5000	0,40
1,25	2500	0,50	3125	0,50	4000	0,50	5000	0,48	6250	0,49
2	4000	0,79	5000	0,80	6400	0,79	8000	0,76	10 000	0,76
3	6000	1,16	7500	1,19	9600	1,14	12 000	1,08	15 000	1,10
5	10 000	1,83	12 500	1,86	16 000	1,80	20 000	1,81	25 000	1,76
6	12 000	2,25	15 000	2,20	19 200	2,16	24 000	2,14	30 000	2,12
7	14 000	2,46	17 500	2,56	—	—	—	—	—	—

1. Устанавливается в заданное положение переключатель вида защитной характеристики. Нижнее положение (Н) переключателя соответствует характеристике, при которой реле срабатывает в зоне перегрузки с обратнозависимой выдержкой времени, при коротких замыканиях в зависимости от кратности тока короткого замыкания — с независимой выдержкой времени или мгновенно. В среднем положении (С) переключателя реле срабатывает в зоне перегрузки с обратнозависимой от тока выдержкой времени, при коротких замыканиях — мгновенно. В верхнем положении (В) переключателя реле срабатывает в зоне перегрузки и при коротких замыканиях мгновенно.

2. Проверка рабочей уставки тока в зоне перегрузки. Совмещают риску рабочей уставки на ручке *1* (рис. XVI.14) с риской на панели реле МТЗ; резистором *R* (см. рис. XVI.13) по амперметру *PA1* устанавливают ток 0,4 А, при этом индикатор, подключенный к контрольным выводам «П» и «*» на панели реле МТЗ, должен показать напряжение в пределах 17—21 В; плавно увеличивают ток автотрансформатором *T1*

до значения, при котором показания индикатора снизятся до 0—3 В. Показания амперметра *PA2* в момент срабатывания реле МТЗ не должны отличаться более чем на 10 % от значения вторичного тока для проверяемой уставки.

3. Проверка рабочей уставки тока в зоне КЗ производится аналогично п. 2. При этом уставку выставляют ручкой *2*, а индикатор подключают к контрольным выводам «КЗ» и «*».

4. Проверка рабочей уставки времени в зоне перегрузки. Совмещают риску рабочей уставки на ручке *3* с риской на панели реле МТЗ, устанавливают ручку *4* в положение «8 с», ручку *1* устанавливают в положение минимальной уставки. Устанавливают автотрансформатором *T1* по амперметру *PA2* значение тока, равное номинальному току МТЗ;

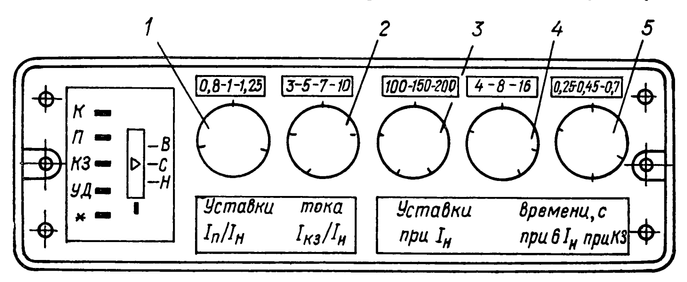


Рис. XVI.14. Лицевая панель реле МТЗ выключателей серии «Электрон»:

1 — ручка регулирования уставки тока при перегрузке; *2* — ручка регулирования уставки тока при к. з; *3* — ручка регулирования уставки времени при номинальном токе МТЗ; *4* — ручка регулирования уставки времени при шестикратном токе МТЗ; *5* — ручка регулирования уставки времени при к. з.

отключают рубильник *S*, не изменяя положения ручки автотрансформатора *T1*, соединяют кратковременно перемычкой контрольные выводы «К» и «П», включают выключатель и рубильник схемы проверки, измеряют время отключения выключателя. Показания электросекундомера *PT* не должны отличаться от уставки более чем на 20 %.

5. Проверка рабочей уставки времени в зоне перегрузки при шестикратном токе МТЗ. Совмещают риску рабочей уставки на ручке *4* с риской на панели реле МТЗ, ручку *3* устанавливают в положение «200 с», ручку *2* — в положение максимальной уставки, включают рубильник схемы проверки и автотрансформатором *T1* устанавливают ток, равный шестикратному току МТЗ. Остальные операции выполняют аналогично п. 4.

6. Проверка рабочей уставки времени в зоне КЗ. Подключают индикатор к контрольным выводам «КЗ» и «*», совмещают риску рабочей уставки на ручке *5* с риской на панели реле МТЗ, ручку *2* устанавливают в положение рабочей уставки. Включают рубильник схемы проверки, при этом индикатор должен показать напряжение в пределах 17—21 В. Устанавливают автотрансформатором *T1* ток, при котором показания индикатора уменьшаются до 0—3 В; отключают рубильник схемы проверки, соединяют кратковременно перемычкой контрольные выводы «К» и «КЗ». Включают выключатель, рубильник схемы проверки и измеряют время отключения выключателя. Показания электросекундомера *PT* не должны отличаться от уставки более чем на 15 %.

7. Проверка для среднего положения (С) переключателя действия защиты в зоне КЗ без выдержки времени. Проверка выполняется ана-

логично п. 6, при этом ручку *5* устанавливают в положение максимальной уставки. Время отключения выключателя должно быть не более 0,1 с.

8. Проверка для верхнего (В) положения переключателя действия защиты в зоне перегрузки без выдержки времени. Подключают индикатор к контрольным выводам «П» и «*», устанавливают ручку *1* в положение рабочей уставки, включают рубильник схемы проверки, при этом показания индикатора должны находиться в пределах 17—21 В; устанавливают автотрансформатором *Т1* ток, при котором показания индикатора уменьшатся до 0—3 В; отключают рубильник схемы проверки, соединяют кратковременно перемычкой контрольные выводы «П» и «*», включают выключатель и рубильник схемы проверки, измеряют время отключения выключателя. Время отключения должно быть не более 0,1 с.

Проверку рабочих уставок следует выполнять только для положения переключателя вида защитной характеристики, соответствующего заданной защитной характеристике реле МТЗ.

После проверки уставок вторичным током реле МТЗ следует соединить с выключателем, установить ручку *1* в положение рабочей уставки, включить выключатель и, подключая нагрузочное устройство поочередно к каждой фазе, увеличивать ток до отключения выключателя. Значения тока в момент отключения не должны отличаться от уставки более чем на 15 %.

Быстродействующие автоматические выключатели постоянного тока

Выключатели типа ВАБ-28

Выключатели типа ВАБ-28 предназначены для защиты ртутно-преобразовательных агрегатов при обратных зажиганиях (катодные выключатели), а также для защиты фидеров при перегрузках и токах короткого замыкания (линейные выключатели).

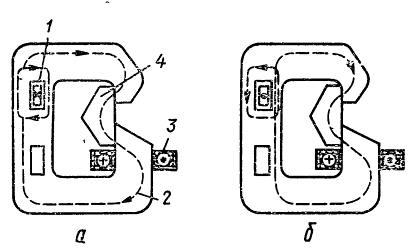


Рис. XVI.15. Направление магнитных потоков в магнитной системе катодного выключателя ВАБ-28 при прямом (*а*) и обратном (*б*) направлении главного тока.

Принцип действия катодных выключателей показан на рис. XVI.15. Величина потока *2*, притягивающего якорь *4*, определяется числом ампервитков удерживающей катушки *3*. Увеличение главного тока в шине *1* при прямом его направлении не может повлечь за собой отключения выключателя, так как оба потока имеют одинаковое направление. При обратном зажигании магнитное сопротивление для потока удерживающей катушки растет по мере увеличения обратного тока вследствие насыщения магнитопровода вокруг главного тока, и действие удерживающей катушки резко снижается. Главные пружины отрывают якорь, который, придя в движение, ударяет толкателями по подвижным контактам и размыкает их.

Дистанционное включение выключателя осуществляется путем кратковременной форсировки удерживающей катушки. Для отключе-

ния выключателя кратковременно изменяется направление тока в удерживающей катушке. Принципиальная схема управления автоматом типа ВАБ-28 приведена на рис. XVI.16.

Катодные выключатели калибруются заводом, значение уставки не нормируется и регулировка не производится.

В линейных выключателях шина главного тока не проходит через окно магнитопровода, и для отключения автомата при коротких замыканиях служит реле-дифференциальный шунт РДШ (*KDS*), устанавливаемый в защищаемой цепи отдельно от выключателя.

Дистанционное включение выключателя осуществляют путем кратковременной форсировки удерживающей катушки, отключение выключателя — разрывом цепи удерживающей катушки. Для достижения быстродействия ВАБ-28 при обрыве цепи его удерживающей катушки место обрыва шунтируют конденсаторами определенной емкости. При наладке выключателей ВАБ-28 выполняют следующие работы.

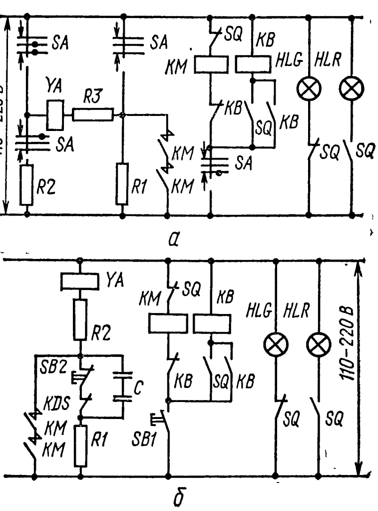


Рис. XVI.16. Принципиальные схемы управления катодным (*а*) и линейным (*б*) выключателями типа ВАБ-28.

1. Проверка зазоров: а) в отключенном положении зазор между главными контактами должен быть равным 9—10 мм; б) дугогасительный контакт должен замыкаться раньше главного контакта на 2—3 мм; в) при зазоре между контактами, равном 9—10 мм, контактные рычаги должны доходить до упора; г) зазор между якорем и нижним полюсом магнитопровода по средней линии должен быть равным 12 ± 1 мм, при этом щеки якоря должны касаться упора; д) во включенном положении выключателя зазор между якорем и полюсами магнитопровода практически отсутствует, зазор между толкателями и подвижными контактами должен составлять 1,4—2 мм.

2. Проверка натяжения пружин: а) натяжение каждой из главных пружин во включенном положении должно составлять 1,47 кН (проверяется с помощью рычага); б) натяжение контактных пружин должно обеспечивать давление между контактами выключателя на 1500 А 176—196 Н, между контактами выключателей на 3000 А и 6000 А — 225—245 Н.

3. Проверка работы блокировочных контактов.

4. Проверка после установки камер их свободного перемещения между полюсами магнитного дутья.

5. Измерение сопротивления постоянному току удерживающей катушки (сопротивление должно быть в пределах 2 ± 0,2 Ом).

6. Измерение сопротивления изоляции подвижного контакта относительно неподвижного, подвижного контакта относительно земли, штока коммутатора относительно рамы выключателя и держащей катушки относительно рамы выключателя. Измерения выполняют мегомметром на 2500 В. Значение сопротивления изоляции не нормируется.

Перед включением в работу выключателей с номинальным напряжением выше 600 В камеры следует просушить. Сопротивление изоляции камер должно быть не менее 10 МОм.

7. Опробование дистанционного управления выключателя. При этом убеждаются в том, что: а) выключатель выдерживает десять включений и отключений с интервалами 5—10 с; б) выключатель надежно включается и удерживается во включенном положении при изменении напряжения цепей управления от 110 до 80 % номинального.

При опробовании дистанционного управления проверяется действие блокировки от многократного включения («звонковости»).

8. Проверка правильности работы свободного расцепления. Между разомкнутыми главными контактами закладывается полоска чистой белой бумаги, после чего замыканием контактов контактора *КМ* вручную подают включающий импульс на удерживающую катушку. Снимают импульс и вынимают полоску бумаги. При правильной работе свободного расцепления на бумаге не будет отпечатка от удара контактов.

9. Регулировка РДШ проводится на стенде, оборудованном многоамперным источником постоянного тока. При наличии у РДШ калибровочной катушки снимается зависимость тока калибровочной катушки от тока первичной цепи реле РДШ.

Положение реле при регулировке должно соответствовать его рабочему положению. Для предотвращения влияния магнитного поля выключателя РДШ следует устанавливать на расстоянии не менее 1 м от выключателя.

10. Согласование направления главного тока и тока в удерживающей катушке для предотвращения отключения выключателя при прямом токе (для катодных выключателей).

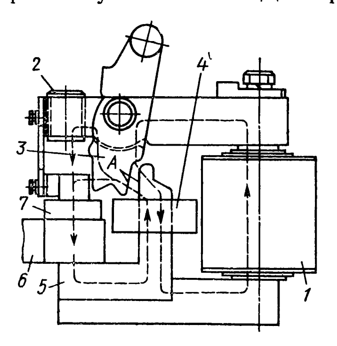


Рис. XVI.17. Общий вид магнитопровода выключателя типа АБ-2/4.

Выключатели типа АБ-2/4

Выключатели типа АБ-2/4 предназначены для защиты ртутно-преобразовательных агрегатов от коротких замыканий, перегрузок и обратных токов. Выключатель типа АБ-2/4 — поляризованный и может служить для защиты либо только от обратных токов, либо от коротких замыканий и перегрузок.

На рис. XVI.17 приведен общий вид магнитопровода выключателя типа АБ-2/4. Для осуществления защиты от обратных токов направление тока удерживающей катушки *1* может быть произвольным, а направление тока в размагничивающем витке *6* должно создавать при нормальной работе поток, совпадающий по направлению с потоком удерживающей катушки в сердечнике, на котором расположена включающая катушка *4*. При аварийном режиме направление тока в размагничивающем витке *6* меняется. В результате наложения потока размагничивающего витка на поток удерживающей катушки в сердечнике, на котором расположена включающая катушка, действие силы, удерживающей якорь *3* во включенном положении, прекращается. При этом направление магнитных потоков размагничивающего витка и удерживающей катушки в сердечнике *5* совпадает, вследствие чего якорь быстро переходит в отключенное положение.

Для защиты от перегрузок и коротких замыканий достаточно изменить направление тока в размагничивающем витке или в удерживающей катушке. Тогда ток, протекая по размагничивающему витку, постепенно ослабляет поток, удерживающий якорь. При какой-то величине потока якорь отпадает, переходя в отключенное положение. Значение тока срабатывания регулируется винтом *2*, изменяющим воздушный зазор и, следовательно, магнитную проводимость цепи магнитного потока. Значение тока срабатывания для выключателей обратного тока можно также регулировать за счет снижения напряжения на удерживающей катушке. В выключателе типа АБ-2/4 предусмотрена калибровочная катушка *7*, позволяющая выполнять калибровку выключателя без источника постоянного тока большой силы.

Принципиальная схема управления выключателем типа АБ-2/4 приведена на рис. XVI.18. Для предотвращения многократного включения автомата на короткое замыкание в схеме предусмотрено блокирующее реле *КВ*. При нажатии кнопки включения срабатывает только контактор *КМ*. *КВ* регулируется таким образом, чтобы напряжение на его зажимах при последовательно включенной обмотке контактора *КМ* было ниже минимального напряжения срабатывания. После включения контактора блок-контакты *SQ* шунтируют катушку контактора *КМ*, разрывающего цепь включающей катушки, и замыкают цепь катушки блокирующего реле. В случае отключения автомата при замкнутых контактах кнопки включения повторное включение автомата не происходит, так как катушка контактора *КМ* остается зашунтированной контактами *КВ*, получающего питание через эти же контакты до размыкания контактов кнопки включения.

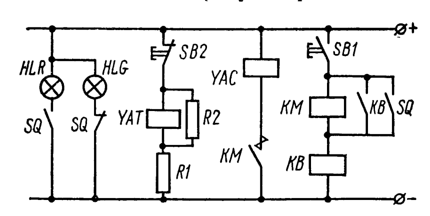


Рис XVI.18. Принципиальная схема управления выключателем типа АБ-2/4.

Удерживающая катушка *YAT* находится все время под напряжением. Если под действием включающей катушки *YAC* якорь переводится во включенное положение, то он удерживается в этом положении под действием удерживающей катушки.

Для включения автомата необходимо согласовать направления токов во включающей и удерживающей катушках, чтобы магнитные потоки в сердечнике, на котором расположена включающая катушка, имели одинаковое направление.

Допустимые колебания напряжения на зажимах удерживающей катушки выключателя типа АБ-2/4 составляют 80—110 % номинального напряжения (при таких колебаниях напряжения изменения тока уставки находятся в пределах ± 7 %).

По сравнению с наладкой автомата типа ВАБ-28 наладка автомата типа АБ-2/4 имеет следующие особенности.

Перед включением автомата его калибруют. Выключатели, независимо от назначения, калибруют, как выключатели прямого тока. У выключателей, предназначенных для защиты от обратных токов, после калибровки изменяется на обратное направление токов в удерживающей и включающей катушках. Калибровку можно проводить главным током или с помощью калибровочной катушки на постоянном токе без тока в главной цепи.

Калибровка автомата главным током может производиться от низковольтного генератора напряжением 6—12 В, ртутного выпрями-

теля с сеточным управлением при его формовке в режиме короткого замыкания, ртутного выпрямителя без сеточного управления с использованием водяного нагрузочного реостата.

Калибровку выключателя главным током проводят в следующем порядке.

1. Прогревают удерживающую катушку до установившейся температуры. Значение тока в катушке должно соответствовать паспортным данным (0,42—0,5 А).

2. Измеряют давление между главными контактами, которое должно находиться в пределах 196—245 Н.

3. Очищают и протирают тряпкой плоскость *А* (см. рис. XVI.17) стыка якоря с электромагнитом.

4. Плавно повышая ток, определяют значение тока отключения выключателя.

Для предохранения от обгорания перед калибровкой контакты выключателя шунтируют гибким проводом сечением 120 мм².

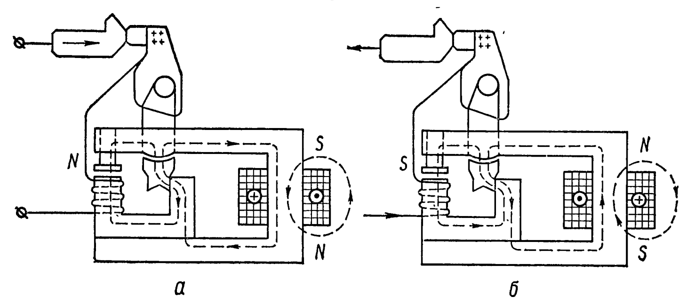


Рис. XVI.19. Магнитная система выключателя типа АБ-2/4.

Калибровка с помощью калибровочной катушки осуществляется следующим образом. В комплект автоматов типа АБ-2/4 входит график калибровочной кривой, выражающей соотношение между током в калибровочной катушке и током в главной цепи. При установившейся температуре и номинальном токе удерживающей катушки и включенном выключателе в калибровочной катушке устанавливается ток, соответствующий по калибровочной кривой заданному току уставки в главной цепи. Изменением положения регулировочного винта добиваются отключения автомата. Полученное положение регулировочного винта будет соответствовать заданному току уставки.

Перед включением автомата в работу проверяют его поляризацию. На рис. XVI.19 схематически представлены магнитные системы выключателя с нанесенными направлениями магнитных потоков. Случай, когда ток главной цепи проходит от неподвижного контакта выключателя к подвижному и направление намотки размагничивающего витка таково, что в верхней части сердечника, на котором находится размагничивающий виток, возникает северный полюс, показан на рис. XVI.19,*а*. При этом выключатель отключается при перегрузках, если сердечник, на котором находится удерживающая катушка, поляризован так, что снизу оказывается северный полюс, а сверху — южный. На рис. XVI.19,*б* показано противоположное направление главного тока. В этом случае отключение выключателя при перегрузках возможно лишь, если нижний конец сердечника витка главного тока имеет северный полюс, а северный полюс сердечника удерживающей катушки находится в верхней его части. Таким образом, для определения поляриза-

ции выключателя нужно установить полярность на концах сердечников удерживающей катушки и катушки главного тока. Если сверху полярности одинаковы, то выключатель поляризован на обратный ток и ни при каких значениях прямого тока не отключится, и, наоборот, при разной полярности намагничивания сердечников выключатель поляризован на прямой ток и отключается при достижении током значения уставки.

Полярность намагничивания сердечника легко может быть проверена компасом или постоянным магнитом, полярность которого известна.

Необходимое направление тока во включающей катушке может быть определено проверкой полярности включающей и удерживающей катушек (см. гл. III). Однополярные зажимы этих катушек должны быть подключены к одному полюсу источника оперативного тока. Этот метод может быть использован и для согласования токов в размагничивающем витке и удерживающей катушке.

Выключатели типа ВАБ-42

На рис. XVI.20 изображен полюс выключателя ВАБ-42-2000/10 во включенном положении. При этом якорь *1* притянут к правому полюсу сердечника *2* и удерживается в этом положении магнитным потоком, создаваемым постоянным током в удерживающей катушке *3*. Сила магнитного притяжения якоря превосходит силу пружины *4* и контактной пружины *5*, которая перемещает вверх тягу *6* и создает контактное давление. Пружина *7* обеспечивает нажатие дугогасительного контакта. Рычаг *8* под действием пружины прижимается к блок-контактам, удерживая их во включенном положении. Отключение выключателя происходит при размыкании цепи удерживающей катушки. Под действием пружины *4* якорь *1*, пройдя путь δ_1, ударяет по упору *9* тяги, при этом размыкаются главные, а затем дугогасительные контакты. Для включения выключателя на удерживающую катушку *3* подается форсированное напряжение, и якорь *1* притягивается к правому полюсу сердечника *2*. После этого ток в катушке снижается до значения, обеспечивающего удерживание якоря *1* во включенном положении (около 1,3 А). Контакты выключателя одновременно с притяжением якоря *1* сомкнуться не могут, так как тяга *6* с помощью защелки *10* и рычага *11* останавливается, когда между контактами выключателя еще имеется некоторый зазор (предвключенное положение). Одновременно с притяжением якоря *1* к сердечнику *2* притягивается якорь *12*. Когда в катушке *3* ток снижается, якорь *1* остается в притянутом положении, а якорь *12* под действием пружины возвращается в исходное положение, ударяет по защелке *10*, сбивая ее. Тяга *6* освобождается, и контакты смыкаются. Выключатель ВАБ-42-4000/10 отличается от выключателя ВАБ-42-2000/10 усиленными токоведущими частями, а также тем, что соедине-

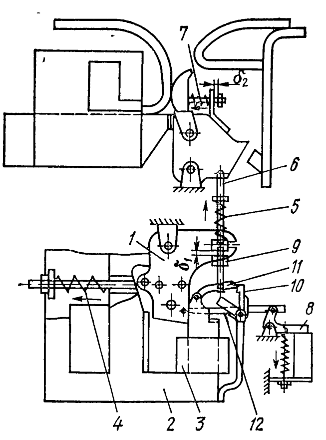


Рис. XVI.20. Полюс выключателя типа ВАБ-42-2000/10 во включенном положении.

ние подвижного контакта с выводными шинами осуществляется не через ось, а посредством гибких связей. Выключатель ВАБ-42-9000/10 состоит из двух полюсов выключателя ВАБ-42-4000/10, установленных на общей тележке.

При наладке выключателей типа ВАБ-42 рекомендуется выполнение следующих работ.

1. Проверка наличия смазки оси вращения подвижного контакта контактной системы выключателей ВАБ-42-2000/10 и ВАБ-42-2000/5.

2. Сушка дугогасительной камеры, если выключатель длительное время хранился в помещении с относительной влажностью 80 %. Сушку следует проводить при температуре 100 °С в течение 12 ч.

3. Проверка отсутствия металлического контакта (омметром и т. п.) между полюсом магнитного дутья и шпильками, стягивающими катушку магнитного дутья с неподвижным контактом.

4. Измерение динамометром давления дугогасительного контакта, которое должно находиться в пределах 118—137 Н, и давления главных контактов, которое должно составлять 343—392 Н (перед измерением рекомендуется несколько раз оттянуть динамометром подвижной контакт на 2—3 мм, без чего измерения могут дать завышенные значения нажатия).

5. Проверка предвключенного положения полюса выключателя и зазора между рогом и дугогасительным контактом, который должен быть равным 2—2,5 мм.

6. Проверка в отключенном положении выключателя зазора между упором и подвижным контактом, который должен быть равным 2—3 мм.

7. Регулировка блок-контактов. Регулировочными гайками пружина блок-контактов растягивается так, чтобы рычаг четко переключал блок-контакты; после этого дополнительно еще раз следует растянуть пружину блок-контактов на 4 мм и отрегулировать длину тяги, чтобы во включенном положении выключателя она имела свободный ход 2—2,5 мм.

8. Измерение сопротивления постоянному току включающей катушки выключателя. Сопротивление катушки при температуре +20 °С равно 2,5 Ом.

9. Проверка выключателя многократными включениями и отключениями. Производится десять контрольных включений и отключений. Включающая катушка допускает суммарную длительность протекания тока включения 40 А не более 4 с.

10. Измерение падения напряжения или сопротивления постоянному току контактной системы выключателя. По заводским данным падение напряжения при токе 2000 А должно составлять: 10 мВ на главных контактах, 7 мВ — на гибком токосъеме выключателей ВАБ-42-4000/10 и ВАБ-42-9000/10, 100 мВ — на выключателях ВАБ-42-2000/10 и ВАБ-42-2000/5, 50 мВ — на выключателе ВАБ-42-4000/10, 25 мВ — на одном полюсе выключателя ВАБ-42-9000/10.

Схема управления выключателем типа ВАБ-42 аналогична схеме управления линейным выключателем типа ВАБ-28, приведенной на рис. XVI.16,*б*.

Выключатели типов ВАБ-43 и 6×ВАТ-43/1

Выключатель типа 6 × ВАТ-43/1 состоит из 6 независимых полюсов типа ВАБ-43, установленных на общей раме. На рис. XVI.21 изображен полюс выключателя типа ВАБ-43 во включенном положении. Якорь *3* притянут к правому полюсу сердечника *2* и удерживается

в этом положении магнитным потоком, создаваемым постоянным магнитом *4*. Сила магнитного притяжения якоря превосходит силу пружины *6* и контактной пружины *8*. Во включенном положении электромагнит *1* обесточен. Ток прямого направления главной цепи протекает через шину *7* и создает в сердечнике *2* магнитный поток, совпадающий в месте касания якоря и сердечника по направлению с магнитным потоком постоянного магнита. При возникновении в защищаемой цепи тока обратного направления в сердечнике появляется магнитный поток Φ_2, направленный встречно магнитному потоку Φ_1 постоянного магнита. В результате сила, удерживающая якорь во включенном положении, исчезает, и в левом зазоре между якорем и сердечником магнитный поток Φ_2 создает силу, стремящуюся перевести якорь в отключенное положение. Под действием этой силы якорь *3* проходит путь δ_1 и ударяет по упору *9* тяги *10*, что приводит к размыканию главных, а затем дугогасительных контактов. После перехода якоря в отключенное положение подвижный контакт *11* продолжает еще некоторое время двигаться по инерции, сжимает пружину *8* и останавливается упором *12*. Для включения выключателя подается напряжение на катушку *1*, под действием магнитного потока которой якорь *3* притягивается к правому полюсу сердечника *2*. Дальнейший процесс включения выключателя происходит, как у выключателя ВАБ-42.

Рис. XVI.21. Полюс выключателя типа ВАБ-43 во включенном положении.

Для оперативного отключения в катушку *1* подается ток обратного направления. Принципиальная схема управления анодным выключателем 6 × ВАТ-43/1 приведена на рис. XVI.22.

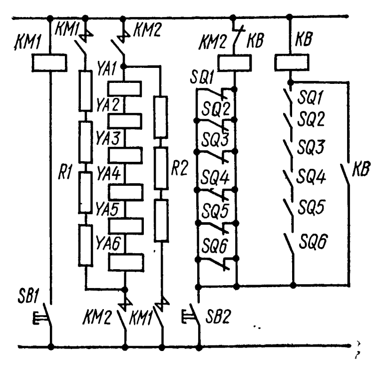


Рис. XVI.22. Принципиальная схема управления анодным выключателем типа 6×ВАТ-43/1:

KM1, *KM2* — контакторы; *R1*, *R2* — резисторы; *SQ1* — *SQ6* — блок-контакты полюсов выключателя; *YA1* — *YA6* — включающие катушки выключателя; *KB* — блокировочное реле.

При наладке выключателей ВАБ-43 и 6 × ВАТ-43/1 рекомендуется выполнить следующие работы.

1. Измерить динамометром давление дугогасительного контакта, которое должно быть равным 118—137 Н; измерить давление главных контактов, которое должно быть равным 343—392 Н. Перед измерением давления следует

несколько раз оттянуть на 2—3 мм подвижный контакт, без чего измерения могут дать завышенные значения.

2. Установить провал (δ_2) дугогасительного контакта, который должен находиться в пределах 2—2,5 мм.

3. Удерживая якорь *13* (см рис XVI.21) прижатым к сердечнику *2*, включить выключатель и проверить, останавливается ли подвижный контакт в предвключенном положении (защелка не срывается).

4. Оттянуть подвижный контакт и завести рычаг *14* за защелку, при этом между рогом и дугогасительным контактом должен быть зазор 2,5—4 мм.

5. Установить зазор δ_1, равный 1,5—2 мм. Зазор должен быть равномерным по всей плоскости упора *9*.

6. Отрегулировать блок-контакты, для чего растянуть пружину так, чтобы рычаг четко переключал блок-контакты После этого дополнительно растянуть пружину еще на 4 мм и отрегулировать длину тяги *15* так, чтобы во включенном положении выключателя она имела свободный ход 2—2,5 мм.

7. Установить в отключенном положении выключателя зазор 2—3 мм между упором *12* и подвижным контактом.

8. Проверить зазор между главными контактами, который должен быть равен 10—14 мм.

9. Измерить падение напряжения или сопротивление постоянному току главных контактов. По заводским данным, падение напряжения на главных контактах при токе 1000 А не должно превышать 15 мВ.

10. Произвести 10 контрольных включений и отключений выключателя. Если полюс выключателя не удерживается во включенном положении, необходимо намагнитить или перемагнитить постоянный магнит, для чего по намагничивающей катушке *5* (см. рис. XVI.21) пропустить ток не менее 38 А в течение 1—2 с, повторяя эту операцию три раза. При рабочем направлении главного тока от неподвижного контакта к подвижному направление тока в намагничивающей катушке при подмагничивании должно быть от начала катушки к концу, при рабочем направлении главного тока от подвижного контакта к неподвижному направление тока в намагничивающей катушке должно быть обратным.

Предохранители низкого напряжения

Проверка предохранителей при новом включении проводится в следующем объеме.

1. Внешний осмотр, чистка, проверка контактных соединений.

2. Проверка правильности выбора номинального тока плавкой вставки. Номинальный ток плавкой вставки $I_{\text{н. в}}$ предохранителя, установленного в цепях с толчкообразной нагрузкой, определяется по выражению

$$I_{\text{н. в}} = \frac{I_{\text{т}}}{\alpha},$$

где $I_{\text{т}}$— максимальное значение тока при толчке нагрузки с учетом постоянной нагрузки; α —коэффициент, учитывающий продолжительность толчка нагрузки и время сгорания вставки.

Для вторичных цепей, цепей электромагнитов включения и т. п. коэффициент α обычно принимается равным 2,5, а в ряде случаев 1,6—2. Значения коэффициента α приведены в табл. XVI.12. Таблица составлена для выбора защиты асинхронных двигателей с короткозамкнутым

Таблица XVI.12. **Значения коэффициента α для выбора плавких вставок предохранителей**

Инерционность предохранителя	Тип предохранителя	Материал вставки	Условия пуска: легкие	Условия пуска: тяжелые и самозапуск
Инерционные	Ц-27	Свинец	По номинальному току	3,75
	СПО	Медь		
Малоинерционные	ПР	Цинк	3	2
	П при $I_{н. в} \geqslant 35$ А	Медь		
Безынерционные	ПН, КП, НПР, НПН	Медь	2,5	1,6
	П при $I_{н. в} \geqslant 35$ А			

ротором, но может быть использована и для выбора предохранителей, устанавливаемых во вторичных цепях.

Селективность последовательно включенных предохранителей проверяют по их защитным характеристикам. При отсутствии защитных характеристик селективность вставок может быть проверена по методу, предложенному Б. Л. Айзенбергом. Для проверки селективности определяется отношение сечений вставок

$$a = \frac{S_1}{S_2},$$

где S_1— сечение вставки, установленной ближе к источнику тока; S_2— сечение вставки, расположенной ближе к месту короткого замыкания.

Значение a сравнивается с данными, приведенными в табл. XVI.13. Селективность обеспечивается, если значение a равно или больше значения, указанного в таблице.

Таблица XVI.13. **Данные для определения селективности предохранителей по методу Б. Л. Айзенберга**

Металл вставки, установленной ближе к источнику питания	Металл вставки, установленной ближе к потребителю							
	Закрытые предохранители с заполнителем				Открытые и закрытые предохранители без заполнителей			
	Медь	Серебро	Цинк	Свинец	Медь	Серебро	Цинк	Свинец
Медь	1,55	1,33	0,5	0,2	1,15	1,03	0,4	0,15
Серебро	1,72	1,55	0,62	0,23	1,33	1,15	0,46	0,17
Цинк	4,5	3,95	3,95	0,6	3,5	3,06	1,2	0,44
Свинец	12,4	10,8	4,5	1,65	9,5	8,4	3,3	1,2

В цепях постоянного и переменного оперативного тока время сгорания вставки особого значения не имеет и может быть обычно допущено в пределах 0,2—0,5 с. В среднем такое время обеспечивается, если $I_{к.з}/I_{н.в} \geqslant 10$. В цепях трансформаторов напряжения, питающих защиту, время должно быть меньше и отношение $I_{к.з}/I_{н.в} = 20 \div 40$.

При установке на защищаемом присоединении магнитных пускателей следует соблюдать отношение $I_{к.з}/I_{н.в} \geqslant 20$; при отсутствии тепловой защиты допустимо $I_{к.з}/I_{н.в} \geqslant 10$.

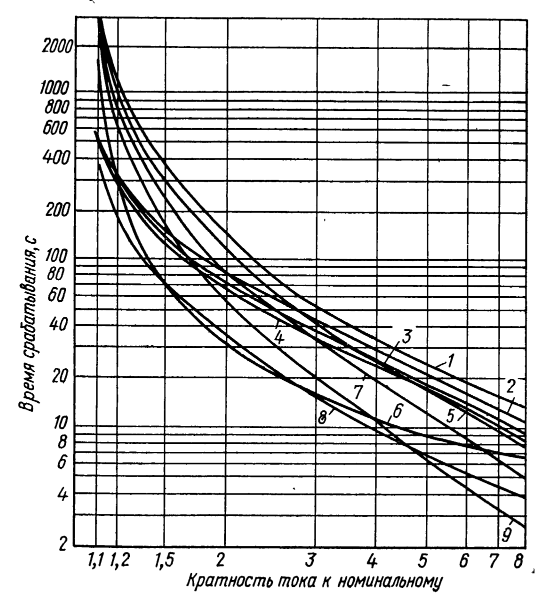


Рис. XVI.23. Защитные характеристики тепловых реле различных серий (при нагреве из холодного состояния):

1 — РТ; 2 — ТРН-10; 3 — ТРН-25; 4—ТРН-40; 5 — ТРП-150; 6 — ТРП-600; 7 — ТРП-25; 8 — ТРН-10А; 9 — ТРП-60.

Тепловые реле

Защитные характеристики тепловых реле некоторых серий (при нагреве из холодного состояния) приведены на рис. XVI. 23.

Тепловое реле, через которое в течение длительного времени проходит номинальный ток, должно сработать не более чем через 20 мин после наступления перегрузки 20 %.

Для настройки реле под током собирают схему, приведенную на рис. XVI. 24. Предварительно в течение 2 ч через тепловые реле пропускают номинальный ток. Затем ток повышают до $1,2 I_{ном}$ и проверяют время срабатывания реле. Если через 20 мин со времени повышения тока реле не срабатывает, то следует постепенным снижением уставки найти такое положение, при котором реле сработает. Затем снизить ток до номинального, дать аппарату остыть и вновь повторить опыт при токе $1,2 I_{ном}$.

Если при первоначальной проверке реле срабатывает слишком быстро (менее чем за 10 мин), ток следует снизить до номинального, увеличить уставку и после проверки аппарата повторить опыт.

При наладке большого количества тепловых реле с одинаковой уставкой рекомендуется пользоваться образцовыми реле, предварительно настроенными описанным выше способом. Тепловые реле включают последовательно с образцовым реле. По цепи реле пропускают 2,5—3-кратный ток уставки и изменением уставок реле добиваются срабатывания реле одновременно с образцовым. Настройку реле можно считать удовлетворительной, если время срабатывания проверяемых реле отличается от образцового не более чем на ±10 %.

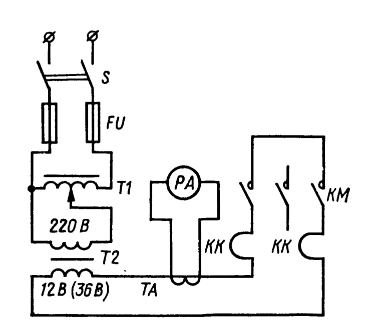


Рис. XVI.24. Схема испытания тепловых реле.

Контакторно-релейная аппаратура

Работы по наладке контакторно-релейной аппаратуры выполняются в следующем объеме: 1) внешний осмотр; 2) проверка изоляции токоведущих частей; 3) регулировка механической части; 4) проверка и настройка аппарата под током.

При внешнем осмотре проверяются соответствие аппарата и его катушек проекту, состояние главных и блокировочных контактов и их пружин, гибких соединений и искрогасительных камер, целость опорных призм или подшипников, наличие немагнитной прокладки, крепежных болтов, гаек и т. п. Сопротивление изоляции катушек и контактов целесообразно измерять совместно со схемой управления в целом. (Отключение отдельных аппаратов или их элементов следует проводить только для нахождения участков схемы с пониженной изоляцией.)

Контакторно-релейные аппараты проходят регулировку на заводах-изготовителях и, как правило, полностью соответствуют каталожным данным. При пусконаладочных испытаниях проверка механической части обычно сводится к следующему.

1. Затяжка болтов, крепящих подшипники. Устранение затираний в подшипниках.
2. Проверка свободной самоустановки и плотности прилегания якоря к ярму.
3. Затяжка болтов, крепящих силовые контакты и выводы к ним.
4. Регулировка растворов и провалов главных контактов и одновременности их замыкания.
5. Проверка нажатия контактов и (в случае необходимости) замена контактных пружин.
6. Затяжка болтов и гаек системы блок-контактов. Регулировка их зазоров. Проверка и (при необходимости) замена пружин на пальцах блок-контактов.
7. Проверка отсутствия затирания между контактами и дугогасительными камерами.
8. Проверка крепления катушки.
9. Затяжка болтов и гаек на скобах, крепящих магнитопровод на ограничивающей скобе и на стальных деталях.

10. Зачистка рабочих поверхностей главных и блокировочных контактов.

11. Проверка крепления демпферных витков.

При затирании в подшипниках следует отпустить крепящие болты контакторов и, найдя положение, соответствующее свободному ходу вала, затянуть их заново.

Плотное прилегание якоря к ярму дает возможность избежать вибрации (гудения) и связанного с ней повышенного износа аппарата. Вибрация якоря устраняется благодаря тому, что в момент, когда синусоидальный магнитный поток $\Phi_к$, создаваемый катушкой K (рис. XVI.25), проходит через нуль, якорь удерживается смещенным по фазе потоком $\Phi_в$ демпферного короткозамкнутого витка ДВ. Ампер-витки и МДС короткозамкнутого витка очень малы, поэтому даже при незначительном (десятые доли миллиметра) воздушном зазоре поток витка $\Phi_в$ резко падает и становится недостаточным для удержания якоря. Плотность прилегания якоря проверяют щупом толщиной 0,05 мм.

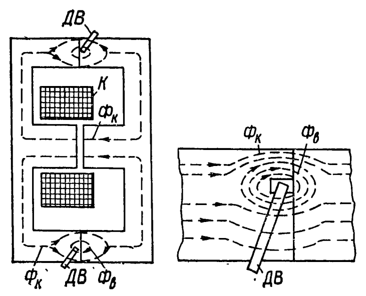


Рис. XVI.25. Схема магнитных потоков в контакторе переменного тока.

Короткозамкнутые демпферные витки должны быть плотно зажаты в своих пазах.

При регулировке растворов и провалов следует убедиться в одновременном замыкании контактов всех трех фаз и, главное, в наличии достаточного провала. Уменьшенный провал контакта на одной из фаз может привести к обрыву цепи, перегреву и даже сгоранию обмотки двигателя, включенного на две фазы.

Значения растворов, провалов, нажатия контактов контакторов переменного тока серий КТ6000, КТ7000, КТП6000 приведены в табл. XVI.14.

При проверке и настройке аппаратов под током проводится измерение напряжений втягивания и отпадания. Контакторно-релейные аппараты, если к ним не предъявляются специальные требования, должны четко включаться при напряжении, равном 85 % номинального, на зажимах нагретых до максимально допустимой температуры втягивающих катушек. Аппараты испытываются обычно при холодных катушках, поэтому нормируемое значение напряжения втягивания аппаратов постоянного тока должно быть снижено. Так, при температуре окружающей среды до 20 °С напряжение втягивания контакторов постоянного тока не должно превышать 68 % номинального.

Отклонению температуры окружающей среды от 20 °С на каждые ± 10 °С соответствует изменение напряжения втягивания на $\pm$ (2,5 $\div$ $\div$3) % $U_{ном}$. Нагрев катушек аппаратов переменного тока почти не влияет на значение напряжения втягивания, так как их активное сопротивление мало по сравнению с индуктивным. Практически напряжение втягивания при испытаниях контакторов переменного тока не должно превышать 80 % номинального (с учетом 5 % запаса на неточность измерений, колебания питающего напряжения и др.). Напряжение отпадания не нормируется, но его следует измерить, так как оно характеризует состояние некоторых элементов аппарата (остаточный немагнитный зазор, конечное нажатие пружин, свободный ход якоря),

Таблица XVI.14. **Растворы, провалы, нажатия контактов контакторов серий КТ6000, КТП6000, КТ7000, КТ6000/2**

Тип контактора	Раствор контактов, мм	Зазор, контролирующий провал, мм	Нажатие, Н	
			начальное	конечное
КТ6012, КТ6022, КТП6012, КТП6022, КТ6022/2, КТ6023/2, КТ7012, КТ7022	7,5—8,5	1,7—2	22—23,5	25,4—28,4
КТ6013, КТ6023, КТ6023/2, КТП6013, КТП6023, КТ7013, КТ7023			14,7—15,7	17,6—21,6
КТ6014, КТ6024 КТ7014, КТ7024			10,8—11,8	13,7—16,7
КТ7015, КТ7025			8,3—9,3	10,8—13,7
КТ6032, КТ6032/2 КТП6032, КТ6033, КТ6033/2, КТП6033		3,3—3,5	19,6—21,6	36,3—44,1
КТ6034			13,7—15,2	29,5—33,3
КТ6035			10,8—11,8	25,5—29,4
КТ6042	11—13		51,9—53,9	71,7—82,6
КТП6042				128,4—162,7
КТ6043				71,7—82,6
КТП6043				128,4—162,7
КТ6044			39,2—41,2	60—69,9
КТ6045			31,4—32,3	51,3—52,3
КТ6052, КТП6052, КТ6053, КТП6053, КТ6042/2, КТ6052/2, КТ6043/2, КТ6053/2	10—12,5	3,7—4	94,1—98	176,4—205,8
КТ6054			63,7—66,6	122,5—147
КТ6055			47—49	102,8—127,4

Напряжение отпадания измеряют также для оценки надежности удерживания контакторов при снижении напряжения в питающей сети.

Схемы измерения напряжения втягивания и отпускания контакторов приведены на рис. XVI.26.

Под током контакторы переменного тока испытывают в первую очередь на гудение и вибрацию. Причиной гудения может быть плохое прилегание якоря к ярму, повышенная жесткость контактных пружин, повреждение короткозамкнутых (демпферных) витков или неправильный их подбор (при ревизии и сборке), несоответствие катушки каталожным данным, нарушение шихтовки магнитопровода.

Если гудение значительно, следует снять отпечаток прилегания якоря. Для этого на поверхность касания ярма кладут бумагу и включают контактор под напряжение. В случае выявления перекосов осуществляют дополнительную механическую регулировку, а при необходимости — притирку полюсов.

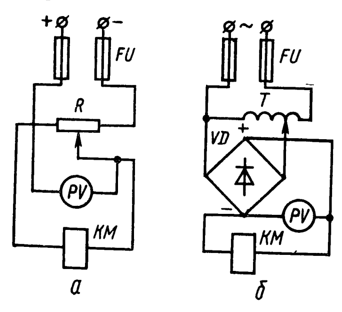


Рис. XVI.26. Схемы измерения напряжения втягивания и отпускания контакторов переменного (*а*) и постоянного (*б*) тока.

Следует иметь в виду, что в процессе включения аппаратов переменного тока индуктивность катушки значительно увеличивается по мере уменьшения воздушного зазора. Общее сопротивление катушки определяется в основном ее индуктивным сопротивлением, поэтому ток катушки в момент включения, когда индуктивное сопротивление мало, может быть в 10—15 раз больше, чем при подтянутом якоре.

Проверка контакторов на напряжение втягивания должна осуществляться очень быстро во избежание перегрева катушек и регулировочных устройств током включения. Повышенное напряжение втягивания якоря может быть вызвано следующими причинами: увеличенным против номинального числом витков катушки, завышенным зазором якоря, чрезмерной затяжкой возвращающей пружины (при ее наличии), затиранием контактов в дугогасительных камерах или осях.

При испытании аппаратов под током должна быть также проверена надежность гашения дуги. Четкость гашения дуги оценивается визуально наблюдением за характером вспышки при размыкании контактов и по состоянию контактных поверхностей. При затяжном гашении дуги, вызывающем оплавление контактных поверхностей, следует проверить достаточность числа витков дугогасительной катушки и направление их намотки. В контакторах постоянного тока правильность присоединения последовательной дугогасительной катушки определяют по следующим правилам: если смотреть на аппарат слева, витки дугогасительной катушки, отходящие от верхнего неподвижного контакта, должны быть направлены по часовой стрелке. При изменении направления тока в дугогасительной катушке магнитной поток также изменяет свое направление, а направление магнитного дутья остается неизменным.

Шунтовые дугогасительные катушки контакторов должны быть подключены таким образом, чтобы направление создаваемого ими потока было согласовано с направлением тока через силовые контакты. Если известно направление намотки шунтовой катушки, то она должна подключаться так, чтобы при направлении тока от нижнего подвижного

контакта к верхнему направление тока в дугогасительной катушке (если смотреть слева) было по часовой стрелке. Противоположное, т. е. сверху вниз, протекание тока в главной цепи требует также противоположного, т. е. против часовой стрелки, протекания тока в катушке. Когда направление намотки шунтовой дугогасительной катушки неизвестно, ее подключение проверяют магнитной стрелкой.

Если, согласно схеме главных цепей, ток должен проходить от нижнего подвижного контакта к верхнему контакту контактора, то дугогасительная катушка должна быть включена таким образом, чтобы поднесенная к ней слева магнитная стрелка притянулась северным полюсом. Если в силовой цепи ток должен проходить сверху вниз, то поднесенная слева к катушке магнитная стрелка должна притянуться южным полюсом.

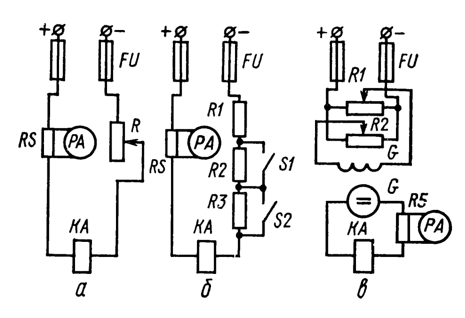


Рис. XVI.27. Схемы настройки токовых реле постоянного тока.

В эксплуатации при температуре окружающей среды 30—40 °С температура деталей контакторов (кроме демпферного витка), как правило, не превышает 80 °С; более высокие температуры, даже если они находятся в пределах нормы (105—110 °С), указывают на чрезмерную нагрузку частей контактора. Высокая температура, как правило, свидетельствует о неправильной механической регулировке или плохом подборе дугогасительной системы.

Собственное время срабатывания контакторов постоянного тока в зависимости от типа контактора может составлять сотые — десятые доли секунды. Собственное время срабатывания контакторов переменного тока не превышает 0,06—0,08 с.

Наладочные работы по магнитным пускателям проводятся в том же объеме, что и по контакторам, дополнительно осуществляется наладка тепловых реле.

Электромагнитные промежуточные реле испытывают под током так же, как и контакторы. Реле напряжения постоянного тока настраиваются на заданную уставку по схеме, приведенной на рис. XVI.26. При питании выпрямленным напряжением, в связи со значительными пульсациями, напряжение на катушке следует измерять вольтметром магнитоэлектрической системы.

Реле напряжения переменного тока с уставкой на срабатывание применяются редко, включаются обычно через добавочное сопротивление и настраиваются так же, как электромагнитные реле постоянного тока. Чаще применяются реле, контролирующие снижение напряжения. Напряжение отпадания регулируют изменением натяжения пружины. После настройки такие реле должны быть проверены на отсутствие гудения и на надежность включения при напряжении не выше 80 % номинального.

Токовые реле постоянного тока в зависимости от значения тока и местных возможностей могут настраиваться разными методами. При токах 5—8 А может быть применена схема, приведенная на рис. XVI.27, *а*; токи 20—40 А могут быть получены кратковременным включением через ящики сопротивления (рис. XVI.27, *б*). Реле на токи

порядка сотен ампер удобно испытывать с помощью генератора (временно выделенного), напряжение которого плавно повышается от нулевого значения (рис. XVI.27,*в*). Токовые реле на токи 50—100 А и более удобно настраивать по схеме, приведенной на рис. XVI.28. Для настройки токовых реле переменного тока используются нагрузочные или сварочные трансформаторы и жидкостные реостаты.

Настройку максимальных реле переменного и постоянного тока при использовании любого нагрузочного устройства выполняют в следующем порядке. Пружину реле затягивают до тех пор, пока указатель не установится против значения шкалы, соответствующего заданной уставке. Испытательный ток поднимается до значения тока уставки. При подгонке значения испытательного тока схема испытания кратковременно включается и вновь отключается для остывания нагрузочных и регулировочных устройств. Путем смещения упора якорь реле отодвигается на такое расстояние, при котором ток срабатывания становится равным току уставки реле (при этом должен сохраниться достаточный раствор контактов). После окончания настройки реле на шкале против движка делается отметка, указывающая уставку, а положение затягивающей гайки фиксируется шплинтом.

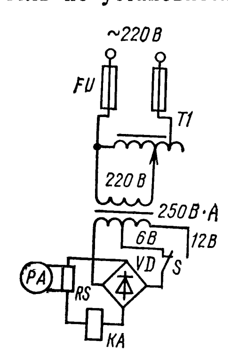


Рис. XVI.28. Схема настройки токовых реле постоянного тока при питании от сети переменного тока.

Проверка токовых реле по нормальной схеме в пусковом режиме допускается в тех случаях, когда ток велик, а испытательной аппаратуры, соответствующей току, нет. На питающей линии в этом случае должна быть проверенная токовая защита с уставкой выше, чем требуется для испытываемого реле. При испытании защита устанавливается на ток несколько меньше пускового, чтобы она заведомо сработала при пуске и отключила защищаемую установку. После проверки работы реле уставка несколько повышается, и установка включается снова; при этом не должно происходить срабатывание реле. Если защита осуществляется несколькими токовыми реле, проверка проводится для каждого реле в отдельности.

Напряжение или ток втягивания и отпадания реле регулируют: изменением натяжения отключающей (возвращающей) пружины с помощью регулировочной гайки или шайбы; изменением воздушного зазора между якорем и сердечником с помощью регулировочного упорного или контактного винта; изменением толщины немагнитной прокладки; изменением раствора (хода) якоря ввинчиванием или вывинчиванием контактных болтов.

Если требуется высокий коэффициент возврата, регулировку лучше проводить при несколько ослабленной пружине путем изменения зазора между якорем и сердечником реле.

При настройке реле напряжения постоянного тока следует учитывать нагрев катушки.

Реле напряжения или тока, предназначенные для регулирования на отпадание, должны иметь достаточно толстую немагнитную прокладку, так как в противном случае из-за деформации уставка быстро изменится в эксплуатации. Грубая регулировка напряжения отпадания выполняется подбором немагнитных прокладок, тонкая — изменением натяжения пружины.

В электромагнитных реле времени выдержка на срабатывание и отпускание достигается замедлением нарастания или спада магнитного

потока (магнитным демпфированием). Чаще всего для этого применяют исполнение магнитной системы с двумя обмотками: одной рабочей и одной короткозамкнутой. Последняя, называемая также демпфирующей, нередко бывает выполнена в виде медной гильзы или медных колец, которые насаживаются на сердечник вместе с рабочей катушкой. Если нет короткозамкнутой катушки, достигается выдержка времени замыканием накоротко рабочей катушки. Путем магнитного демпфирования удается получить при срабатывании реле времени выдержку порядка 0,1—0,5 с. Магнитное демпфирование весьма эффективно для замедления отпускания реле, так как благодаря малому магнитному со-

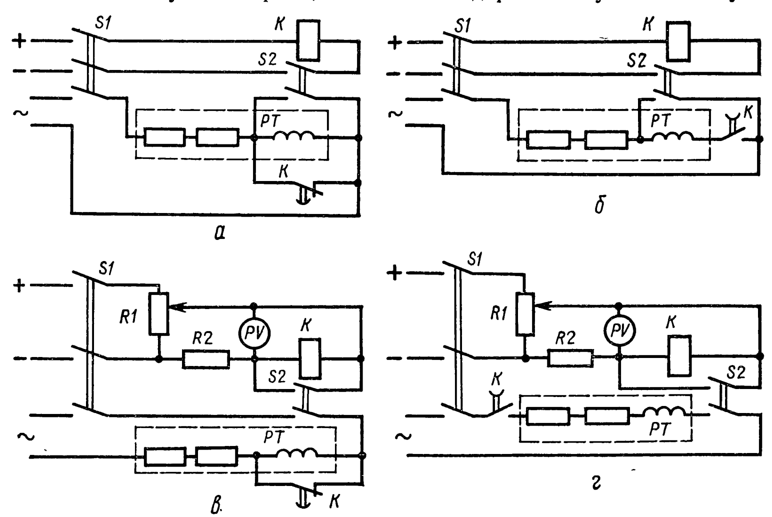


Рис. XVI.29. Схемы измерения времени работы реле электросекундомером:
а — время замыкания размыкающих контактов при отключении катушки реле; *б* — время размыкания замыкающих контактов при отключении катушки реле; *в* — время замыкания размыкающих контактов при закорачивании катушки реле; *г* — время размыкания замыкающих контактов при закорачивании катушки реле; *K* — проверяемое реле, *PT* — секундомер; *S1*, *S2* — рубильники; *R1* — потенциометр; *R2* — резистор.

противлению замкнутого магнитопровода индуктивность катушки значительно выше, чем при срабатывании реле, что определяет большую инерционность системы. Выдержка времени отпускания реле достигает 4—10 с.

Регулирование выдержки времени электромагнитных реле осуществляется изменением воздушного зазора между якорем и сердечником (изменением толщины немагнитной прокладки) и изменением натяжения пружины.

Реле времени с магнитным демпфированием обычно выполнены так, что магнитопровод насыщается при напряжении, значительно меньшем номинального (при $0{,}5U_{ном}$). Поэтому возможные колебания напряжения от $0{,}85U_{ном}$ до $1{,}1U_{ном}$ не влияют на выдержку времени. При настройке реле следует помнить, что с нагревом катушки выдержка времени будет уменьшаться. Поэтому, как правило, следует регулировать реле (при холодной катушке) на выдержку, несколько большую, чем заданная уставка. Схемы измерения времени работы реле приведены на рис. XVI.29.

Глава XVII

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА

Основные положения и требования, предъявляемые к релейной защите в электроустановках, определены в ПУЭ, «Руководящих указаниях по релейной защите» и других директивных материалах.

В объем наладки устройств релейной защиты при новом включении, как правило, входят следующие операции.

1. Ознакомление с проектом.

2. Проверка правильности и качества выполнения монтажа цепей релейной защиты (см. гл. III) и внешний осмотр аппаратуры.

3. Измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением изоляции аппаратов и проводок (см. гл. III).

4. Проверка правильности выбора предохранителей и автоматов во вторичных цепях (см. гл. XVI).

5. Проверка и регулировка релейной аппаратуры и вспомогательных устройств.

6. Испытание приводов выключателей, короткозамыкателей, отделителей (см. гл. XIII), трансформаторов тока и напряжения (см. гл. XI).

7. Проверка взаимодействия всех элементов схемы и действия защиты на выключатели (короткозамыкатели, отделители).

8. Проверка защиты в целом током от постороннего источника и рабочим током (нагрузки).

При внешнем осмотре элементов защиты проверяется: а) наличие всей релейной и вспомогательной аппаратуры, предусмотренной проектом; б) соответствие ее проекту и требованиям ПУЭ; в) состояние защитных кожухов и крышек, а также уплотнительных прокладок между крышками и корпусом; г) наличие и правильность выполнения маркировки; д) заземление металлических корпусов аппаратуры и вторичных цепей в местах, предусмотренных проектом; е) наличие плавких вставок предохранителей и соответствие их проектным или расчетным данным; ж) соответствие проекту и ПУЭ сечения проводок вторичной коммутации (токовых, напряжения, оперативных); з) надежность крепления панелей, аппаратуры, реле, шпилек, штырей, ламелей, винтов и гаек, а также всех контактных соединений; и) наличие пломб, всех необходимых надписей, а также разделительных линий на панелях между аппаратурой разных присоединений; к) состояние кабельных разделок.

Общие указания по проверке релейной аппаратуры

Перед проверкой электрических характеристик реле проводится осмотр и проверка механической части. При осмотре релейной аппаратуры проверяют: а) целость кожухов и стекол и надежность их уплот-

нения; б) наличие, целость и надежность крепления всех деталей; в) правильность установки подвижных систем, отсутствие препятствий для их перемещения в требуемых пределах при любой уставке на реле, наличие и надежность упоров, наличие необходимых зазоров, отсутствие искривления осей, наличие необходимого продольного люфта и др.; г) целость, правильность установки противодействующих, возвратных, ведущих и других пружин; д)равномерность зазоров между витками спиральных пружин, правильность установки безмоментных контактных подвижных соединений; е) правильность установки механических передач, наличие свободного хода шестеренок и червячных пар, достаточность глубины их зацепления; ж) правильность установки храповых зацеплений, обеспечение надежности пропуска храповика при обратном ходе и надежность зацепления собачки с храповиком при прямом ходе; з) правильность регулировки анкерных или центробежных регуляторов часовых механизмов; и) целость и правильность установки подпятников и правильность заточки осей. Оценка состояния подпятников и концов осей производится по отсутствию затираний. При наличии затираний подпятник вывертывают и проверяют. Исправность агатовых подпятников (отсутствие трещин и выкрашиваний) проверяют прощупыванием кратера стальной иголкой. Бронзовые подпятники и концы осей осматривают через часовую лупу. Подпятники ни в коем случае не следует смазывать; к) правильность установки тормозных постоянных магнитов, равномерность зазоров и отсутствие затираний в междуполюсном пространстве; л) целость выводов и катушек реле, отсутствие их механических повреждений, отсутствие следов термического разрушения изоляции; м) правильность регулировки, ход, нажим и чистоту контактов; н) надежность контактных соединений. Пайки должны иметь чистую поверхность и достаточную механическую прочность; о) отсутствие грязи, пыли, металлических стружек и опилок на деталях реле и в зазорах.

Обнаруженные при осмотре дефектные детали заменяют. Удаление пыли производится мягкой щеткой или пылесосом. Липкую грязь (лак и пр.) смывают соответствующим растворителем (бензин, скипидар). Металлические стружки и опилки из зазоров магнитов и магнитопроводов удаляют тонкой стальной пластинкой, деревянной палочкой (не смолистой) или бумагой. Загрязненные подпятники прочищают заостренной деревянной несмолистой палочкой (например, спичкой). Загрязненные или оплавленные контакты зачищают надфилем и полируют воронилом. Применение для чистки абразивных материалов не допускается.

Реле выпускаются проверенными и откалиброванными, не требующими, как правило, специальной регулировки перед включением в работу. Такая регулировка проводится только при значительных отклонениях от каталожных данных, а также при повреждениях реле. Регулировку реле с изменением положения закрепленных деталей, полировкой осей, заменой подшипников, подгибанием контактных и упорных пластин должен выполнять квалифицированный персонал только в случае необходимости.

При проверке электрических характеристик общими для всех реле являются следующие рекомендации.

1. Реле целесообразно проверять на месте установки; в некоторых случаях можно проверять реле в лабораториях с обязательной повторной проверкой контрольной точки характеристики после установки их на место.

2. Коэффициент возврата реле необходимо проверять во всех случаях (даже тогда, когда он не нормируется), поскольку он является показателем исправности реле.

3. Параметры срабатывания и возврата реле следует определять, как правило, при плавном изменении электрических величин.

4. Работу контактов реле нужно проверять при той же нагрузке, которую они несут в схеме защиты.

5. Электрические характеристики реле, изменяющих свои параметры при искажении формы кривой тока (индукционные реле, реле с НТТ и др.), следует проверять при соблюдении следующих условий: а) для питания реле нужно пользоваться линейным напряжением распределительной сети; б) для предотвращения влияния насыщения сердечников реле на форму кривой тока последовательно с реле необходимо включить такое активное сопротивление, чтобы падение напряжения на нем при всех значениях тока было не меньше трех — десятикратного напряжения на реле (или на всех индуктивных сопротивлениях схемы); в) для проверки реле рекомендуется применять автотрансформаторы, наиболее полно удовлетворяющие всем требованиям, предъявляемым к устройствам регулирования напряжения.

6. Необходимо учитывать термическую устойчивость реле при подведении к проверяемым реле токов или напряжений большой кратности. В этом случае необходимо подавать токи (напряжения) кратковременно или исключать из схемы термически неустойчивые элементы.

7. Реле, подверженные вибрации, которая может привести к неправильным действиям или повышенному механическому износу, следует проверять на отсутствие вибрации в диапазоне токов, протекание которых в реле возможно при любом из режимов работы электроустановки.

Таблица XVII.1. **Рекомендуемые допустимые значения максимальных отклонений уставок защит от заданных**

Измеряемый параметр и характеристика защит	Допустимое отклонение
Выдержка времени быстродействующих защит без реле времени	±0,05 с
Выдержка времени защит с независимой характеристикой	±0,1 с
Выдержка времени защит с зависимой характеристикой	
в зависимой части	±0,15 с
в независимой части	±0,1 с
Выдержка времени встроенных в привод реле в независимой части (с учетом времени отключения МВ)	±0,15 с
Токи и напряжения срабатывания реле переменного тока и напряжения	±3 %
Токи и напряжения срабатывания реле тока и напряжения несогласуемых защит	±5 %
Токи и напряжения срабатывания реле, встроенных в привод	±5 %
Токи и напряжения срабатывания реле постоянного тока	±3—5 %
Мощность срабатывания реле направления мощности переменного тока	±3—5 %
Сопротивление срабатывания дистанционных защит	±3 %
Коэффициент возврата реле	
встроенного в привод	±0,05 с
не встроенного в привод	±0,03 с

При настройке и проверке электрических характеристик реле ток и напряжение от испытательных устройств желательно подводить к входным зажимам панели. В этом случае учитываются имеющиеся в цепях реле различные вспомогательные устройства, влияющие на характеристики защиты, и обеспечивается дополнительная проверка правильности всего устройства защиты и взаимодействия реле в схеме.

Если реле имеет кожух, то перед проверкой электрических характеристик его следует надеть. Если кожух изготовлен из немагнитного материала, проверку можно проводить со снятым кожухом.

Шкалу следует проверять не меньше чем в трех точках: в начале и конце шкалы и на рабочей уставке. В качестве результата принимается среднее арифметическое трех измерений для каждой точки.

Рекомендуемые допустимые значения максимальных отклонений уставок защит от заданных приведены в табл. XVII.1.

Реле прямого действия

Технические характеристики реле прямого действия приведены в табл. XVII.2—XVII.8.

Общий вид реле тока мгновенного действия РТМ к приводам выключателей ВМП-10П, ВМПП-10, ВММ-10 и к приводу ППВ-10 показан на рис. XVII.1. В реле применен комбинированный способ регулирования тока срабатывания. Переключение отпаек осуществляется переключателем *3*. Плавное изменение тока срабатывания производится регулировочным винтом *9*. Реле снабжено механическим указателем

Таблица XVII.2. **Технические характеристики реле типа РТМ, встраиваемых в привод типа ППМ-10**

Исполнение реле (пределы уставок, А)	Уставка тока, А	Потребляемая мощность, В · А		Сопротивление катушки, Ом		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
		Сердечник заторможен	Сердечник втянут	Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр, мм
5—15	5	18	50	0,72	2			
	10	50	160	0,5	1,6	230	ПБД	1,81
	15	105	300	0,47	1,33			
10—30	10	20	75	0,2	0,75			
	20	50	200	0,13	0,5	115	ПБД	1,81
	30	120	360	0,13	0,4			
20—60	20	22	72	0,06	0,18			
	40	84	216	0,06	0,14	55	ПБД	1,81
	60	210	400	0,06	0,11			
40—120	40	44	88	0,03	0,06			
	80	200	320	0,03	0,06	25	ПБД	1,81
	120	552	760	0,03	0,05			

Примечание. Отклонения значений тока срабатывания реле, потребляемой мощности и сопротивления ±10 % от указанных.

Таблица XVII.3. **Технические характеристики реле типа РТМ, встраи**

Исполнение реле	Воздушный зазор, мм	Уставка тока, А	Потребляемая мощность, В · А, при токе срабатывания		Полное сопротивление, Ом, при заторможенном сердечнике
			Сердечник заторможен	Сердечник втянут	
РТМ-I	36	5	16	58	0,64
		7,5	20	67	0,36
		10	28	90	0,28
		15	26	73	0,12
РТМ-II	36	10	23	71	0,23
		15	20	62	0,089
		20	28	79	0,07
		25	40	100	0,064
РТМ-III	40	30	66	220	0,073
		40	108	310	0,068
		50	143	345	0,057
		60	104	200	0,029
РТМ-IV	52	75	210	570	0,0375
		100	365	800	0,0365
		125	420	800	0,027
		150	330	570	0,015
ТЭО-I	36	1,5	20	—	—
ТЭО-II	36	3	20	—	—

Примечания. 1. Токовый электромагнит отключения встраивается в приводы уставки ±10 %; разброс тока срабатывания ±4 %.

Таблица XVII.4. **Технические характеристики реле РТМ, встраиваемых**

Реле или электромагнит	Номер секции катушки	Пределы регулирования тока срабатывания воздушным зазором		Потребляемая мощность, В · А, при токе срабатывания	
		Ток срабатывания, А	Зазор, мм	Сердечник заторможен	Сердечник втянут
РТМ	1	5—9	30—46	19,75—52,0	67,0—170,0
	2	9—15	30—42	20,7—48,0	67,5—151,5
	3	15—25	28—42	25,5—65,0	72,0—168,0
	4	25—40	30—45	33,0—80,0	77,5—176,0
	5	40—80	30—42	47,0—208	92,0—320,0
	6	80—200	18—31	133,0—800	188,0—1080
$ЭО_{тт}1$	—	1,5	20	35	—
$ЭО_{тт}2$	—	3,0	20	35	—

Примечание. Отклонения тока срабатывания реле РТМ относительно тока

ваемых в приводы типов ПП-61, ПП-67, ПП-61К, ПП-67К

Полное сопротивление, Ом, при втянутом сердечнике	Пределы плавного регулирования тока уставки		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
	Зазор, мм	Ток уставки, А		Марка	Диаметр, мм
2,32 1,19 0,9 0,32	34—47 34—47 34—47 34—47	4,8—7,4 7,2—10,8 9,6—15,5 14,6—22,0	257; отпайки: 184, 155, 92	ПЭЛБО	1,56
0,71 0,275 0,197 0,16	34—47 34—47 34—47 34—47	9,2—14,4 14,2—20,5 18,4—30,5 23,0—41,0	150; отпайки: 105, 75, 68	ПЭЛБО	1,81
0,245 0,193 0,138 0,056	34—47 34—47 34—47 34—47	25,0—38,0 33,0—58,0 43,0—67,0 54,0—81,0	76; отпайки: 69, 57, 30	ПЭЛБО	1,81
0,1 0,08 0,05 0,024	44—57 44—57 44—57 44—57	54,0—108,0 68,0—150,0 94,0—200,0 104,0—260,0	57; отпайки: 51, 36, 20	ПБД	2,44
—	34—47	1,4—2,1	900	ПЭЛБО	0,9
—	34—47	2,9—4,5	450	ПЭЛБО	1,08

ПП-67, ПП-67К. 2. Отклонения тока срабатывания реле РТМ относительно тока

в приводы выключателей типов ВМП-10П, ВМПП-10, ВММ-10, ППВ-10

Сопротивление, Ом, при токе срабатывания		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр мм
0,79—0,64	2,68—2,1	250	ПБД	1,81
0,256—0,21	0,83—0,67	140		
0,113—0,104	0,32—0,27	84		
0,053—0,05	0,124—0,11	50		
0,029—0,032	0,058—0,05	30		
0,021—0,02	0,03—0,027	17		
—	—	950	ПЭВ-2	0,9
—	—	450		1,08

уставки ±10 %, разброс тока срабатывания ±4 %.

Таблица XVII.5. **Технические характеристики реле типа РТВ, встраиваемых в приводы типа ППМ-10**

Исполнение реле (пределы уставок, А)	Уставка тока, А	Потребляемая мощность, В · А		Сопротивление катушки, Ом		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
		Сердечник заторможен	Сердечник втянут	Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр, мм
5—10	5	54,5	97	2,18	3,88	300	ПСД	1,81
	6	54,4	95,8	1,51	2,66	250		
	7	54,9	102,9	1,12	2,1	215		
	8	56,3	103	0,88	1,61	188		
	9	55,1	123,1	0,68	1,52	167		
	10	54	107	0,54	1,07	150		
11—20	11	60,5	116,2	0,5	0,96	130	ПСД	2,26
	12	64,8	129,6	0,45	0,9	124		
	14	64,7	127,4	0,33	0,65	104		
	16	58,9	117,8	0,23	0,46	85		
	18	61,6	113,4	0,19	0 35	73		
	20	68	132	0,17	0,33	69		
20—35	20	68	132	0,17	0,33	70	ПСД	2,26
	22	77,4	140,4	0,16	0,29	63		
	24	86,4	155,5	0,15	0,27	59		
	27	102	182,3	0,14	0,25	55		
	30	117	198	0,13	0,22	51		
	35	153,1	232,8	0,125	0,19	45		

Примечания. 1. Уставка выдержки времени в независимой части 0—4 с. 2. Разброс по времени в независимой части ±0,2 с. 3. Точность по току срабатывания ±10 % уставки по шкале.

Таблица XVII.6. **Технические характеристики реле типа РТВ, встраиваемых в приводы типов ПП-61, ПП-67, ПП-61К, ПП-67К**

Исполнение реле	Уставка тока, А	Потребляемая мощность В · А		Полное сопротивление, Ом		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
		Сердечник заторможен	Сердечник втянут	Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр, мм
РТВ-I, РТВ-IV	5	44	112	1,6	4,45	307; отпайки:	ПЭЛБО	1,81
	6	36	101	1,0	2,8	258		
	7,5	41	118	0,73	2,1	218		
	10	40	113	0,4	1,13	156		
РТВ-II, РТВ-V	10	40	114	0,4	1,14	151; отпайки:	ПБД	2,44
	12,5	40	114	0,26	0,73	120,		
	15,0	44	125	0,2	0,555	106, 92		
	17,5	45	125	0,15	0,41			

Исполнение реле	Уставка тока, А	Потребляемая мощность, В · А		Полное сопротивление, Ом		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
		Сердечник заторможен	Сердечник втянут	Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр, мм
РТВ-III,	20	37	107	0,092	0,268	69; отпайки:	ПБД	2,44
РТВ-VI	25	41	116	0,066	0,186	59,		
	30	44	126	0,049	0,14	52, 48		
	35	52	142	0,043	0,116			

Примечания. 1. Независимая часть характеристики у реле РТВ-I, РТВ-II и РТВ-III наступает при кратности тока к току срабатывания, равной 1,2—1,7; у реле РТВ-IV, РТВ-V, РТВ-VI — при кратности 2,5—3,5. Выдержка времени в независимой части 0—4 с. Разброс по времени в независимой части составляет ±0,3 с для привода ПП-61 и ±0,2 для привода ПП-67. 2. Отклонения тока срабатывания относительно тока уставки по шкале ±10 %, разброс тока срабатывания 4 %. Коэффициент возврата реле при работе в зависимой части характеристики 0,6; в независимой части 0,75—0,8 для реле РТВ-1, РТВ-II, РТВ-III и 0,95—0,98 — для реле РТВ-IV, РТВ-V и РТВ-VI.

Таблица XVII.7. **Технические характеристики реле РТВ, встраиваемых в приводы выключателей типов ВМП-10П, ВМПП-10, ВММ-10, ППВ-10**

Исполнение реле	Уставка тока срабатывания, А	Потребляемая мощность, В · А, при токе срабатывания		Сопротивление, Ом, при токе срабатывания		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
		Сердечник заторможен	Сердечник втянут	Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр, мм
РТВ-I,	5	35	80	1,4	3,2	290	ПБД	1,81
РТВ-IV	6	40	84	1,1	2,3	235		
	7	45,6	95	0,93	1,94	210		
	8	45	92	0,703	1,44	180		
	9	40,5	99	0,5	1,22	160		
	10	46	97	0,46	0,97	145		
РТВ-II,	10	45	75	0,45	0,75	140	ПБД	2,26
РТВ-V	12	49	80,4	0,34	0,56	120		
	14	53	82,5	0,27	0,42	105		
	16	51	80	0,199	0,313	90		
	18	49,5	82,9	0,153	0,256	80		
	20	50	81	0,125	0,203	70		

Исполнение реле	Уставка тока срабатывания, А	Потребляемая мощность, В · А, при токе срабатывания		Сопротивление, Ом, при токе срабатывания		Число витков в катушке	Характеристики провода катушки	
		Сердечник заторможен	Сердечник втянут	Сердечник заторможен	Сердечник втянут		Марка	Диаметр мм
РТВ-III, РТВ-VI	20	44	74,5	0,11	0,186	70	ПБД	2,26
	22	46	80,5	0,095	0,166	61		
	24	49	85	0,085	0,148	56		
	27	55	88	0,075	0,121	52		
	30	60	96,3	0,066	0,107	48		
	35	70	109	0,057	0,089	42		

Примечания. 1. Независимая часть характеристики у реле РТВ разных исполнений наступает при кратности тока реле к току срабатывания, равной 1,2—1,7 и 2,5—3,5 у реле РТВ-I, РТВ-II, РТВ-III и РТВ-IV, РТВ-V, РТВ-VI соответственно. Выдержка времени в независимой части 0—4 с. Разброс по времени в независимой части составляет ±0,2 с. 2. Отклонения тока срабатывания относительно тока уставки по шкале ±10 %; разброс тока срабатывания 4 %.

Таблица XVII.8. **Технические характеристики реле минимального напряжения, встраиваемых в приводы масляных выключателей**

Тип привода	Тип реле	Номинальное напряжение, В	Потребляемая мощность, В · А, при поднятом якоре	Полное сопротивление, Ом	Число витков в катушке	Характеристики провода катушки		Выдержка времени, с
						Марка	Диаметр, мм	
ПП-61, ПП-61К, ПП-67	РНВ-Л	100	30	330	2700	ПЭВ-2	0,47	0—4±0,2
		127	30	540	3480		0,41	0—4±0,2
		220	30	1600	6000		0,31	0—9±0,4
		380	30	4800	10300		0,23	
ППМ-10	РНВ	100	30	330	2720	ПЭЛ	0,44	0—4
ВМПП-10	РНВ	100	30	—	2720	ПЭВ-2	0,44	0,5—9±0,3
ВММ-10		127	30	—	3500		0,38	
		220	30	—	6000		0,31	
		380	30	—	10000		0,23	

Примечание. Реле срабатывают при напряжении в пределах 35—65 % $U_{ном}$. Напряжение возврата — в пределах 65—85 % $U_{ном}$ (реле РНВ-Л привода ПП-67 срабатывает при напряжении 45—50 % $U_{ном}$ при напряжении возврата 75—85 % $U_{ном}$).

срабатывания *10*. Особенностью конструкции реле является наличие собственного магнитопривода *8*.

Реле тока с зависимой выдержкой времени (РТВ), выпускаемые различными заводами к пружинным приводам, имеют практически одинаковую конструкцию и различаются только обмоточными и техническими характеристиками. На рис. XVII.2 показан общий вид реле РТВ, встраиваемых в привод ППМ-10.

Между полками привода *1* помещается каркас *2* с обмоткой *3*. Обмотка реле имеет ответвления *18*, которые выведены на переключатель *19*, позволяющий изменять ток срабатывания без разрыва вторич-

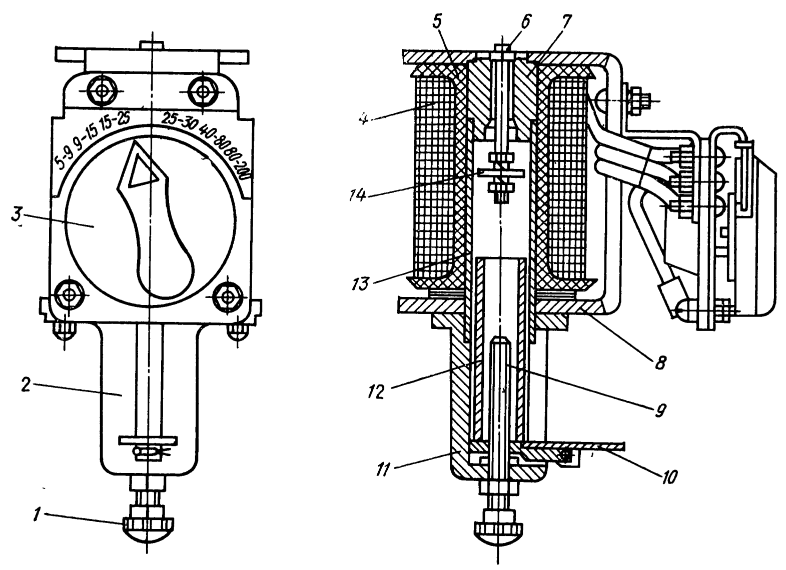


Рис. XVII.1. Общий вид реле РТМ, встраиваемых в приводы выключателей ВМП-10П, ВМПП-10, ВММ-10, ППВ-10:

1 — головка; *2* — стакан; *3* — переключатель отпаек; *4* — обмотка; *5* — каркас; *6* — боек; *7* — контрполюс; *8* — магнитопровод; *9* — регулировочный винт; *10* — указатель срабатывания; *11* — упор; *12* — сердечник; *13* — гильза; *14* — диск.

ной цепи трансформатора тока. Выдержка времени реле создается часовым механизмом *20*, помещенным в литом корпусе реле *21* из немагнитного сплава. Внутри обмотки реле помещена латунная гильза *9*, опирающаяся нижним концом на выточки корпуса реле. В верхней части гильзы укреплен контрполюс *4*, который входит в расточку полки привода. В гильзе движется стальной полый сердечник *7*. Внутри сердечника находится пружина *8*, которая нижним концом упирается в дно сердечника, а верхним — в кольцо *6*, укрепленное на бойке *5*. Боек промежуточным звеном *17* соединяется с рычагом *13*, закрепленным винтом *11* на главном валу *12* часового механизма. Соединение бойка, промежуточного звена и рычага выполнено шарнирным на винтах *10* и *16*. Для изменения выдержки времени служит поводок *14*, закрепленный в корпусе реле гайкой *15*.

Кинематическая схема часового механизма приведена на рис. XVII.3. Рычаг *2* крепится винтом *3* на главном валу *1* часового механизма. На валу свободно вращается втулка *6*, на которой укреплены

храповое колесо *8* и первая ведущая шестерня *7*. Рычаг *9* укреплен на валу *1* неподвижно. На рычаге *9* установлен упор *10*. В крайних положениях механизма он упирается в стойки, на которых собраны

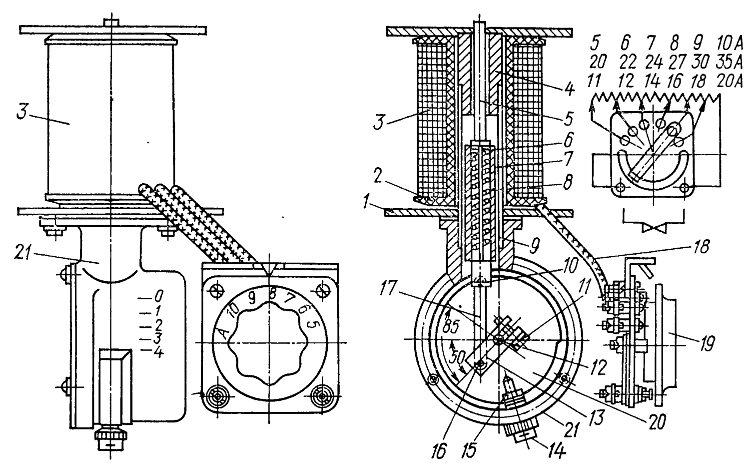


Рис. XVII.2. Общий вид реле РТВ, встраиваемых в привод ППМ-10.

основания часового механизма (на рисунке не показаны), и ограничивает угол поворота вала. На этом же рычаге установлена собачка *11*, свободно вращающаяся на своей оси *13*, и пружина *12*, прижимающая ее к зубцам храпового колеса.

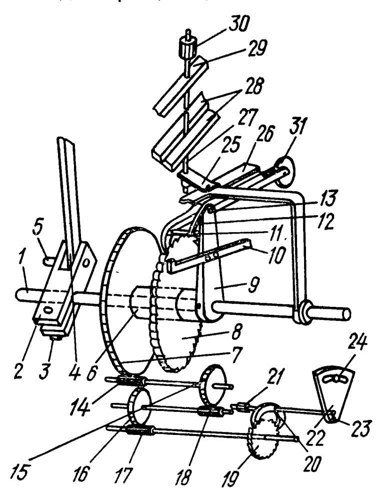


Рис. XVII.3. Кинематическая схема часового механизма реле РТВ.

При работе реле промежуточное звено *4* на оси *5* через рычаг *2* поворачивает вал *1*, а вместе с ним и рычаг *9* по часовой стрелке (если смотреть со стороны рычага *2*). Собачка захватывает храповое колесо и поворачивает его и шестерню *7*. Через шестерни *14—18* движение передается анкерному колесу *19*. В зубцы анкерного колеса входят зубцы анкера *20*. Маховик *21* служит для увеличения его массы. Ось анкера одним концом установлена в секторе *22*, который может поворачиваться на своей оси *23* для регулировки зацепления анкера с анкерным колесом. Сектор *22* фиксируется винтом *24* На другом конце собачки установлен ролик *31*. При вращении рычага *9* ролик приближается к планке *26*, подкатывается под нее и опускает конец собачки. Собачка поворачивается на оси, расцепляется с храповым колесом и освобождает вал часового механизма. Боек больше не удерживается часовым механизмом и может действовать на отключающую планку привода. Планка *26*

укреплена на валу часового механизма и может вращаться вокруг него. К планке прикреплен поводок *25*, на котором установлен винт *27*, проходящий через прорезь в корпусе реле *28* и шкалу *29*. Перемещением винта *27* в прорези корпуса изменяется положение планки *26* относительно начального положения ролика *31*, а следовательно, и момент расцепления храпового колеса с собачкой. Таким образом, изменяется выдержка времени реле. В установленном положении винт *27* крепится гайкой *30*.

Реле работает следующим образом. При увеличении тока в обмотке реле сердечник притягивается к контрполюсу. Если кратность тока в обмотке достаточно велика, сердечник мгновенно притягивается к контрполюсу и сжимает пружину. Пружина давит на боек реле, который через промежуточное звено поворачивает вал часового механизма. Усилие, прикладываемое к часовому механизму, в этом случае постоянно, не зависит от значения тока в обмотке реле и определяется только упругостью пружины. При постоянном тяговом усилии скорость вращения шестерен часового механизма постоянна и реле работает в независимой от тока части характеристики. По истечении установленной выдержки времени часовой механизм расцепляется с валом, пружина толкает освобожденный боек и отключает выключатель. Если кратность тока в обмотке реле невелика, то усилие, создаваемое сердечником, недостаточно для сжатия пружины. Пружина в этом режиме работает как жесткая связь между сердечником реле, бойком и часовым механизмом. Скорость вращения шестерен часового механизма и создаваемая им выдержка времени в этом случае определяются тяговым усилием сердечника, которое примерно пропорционально квадрату тока в обмотке реле. В этом режиме реле работает в зависимой от тока части характеристики.

При работе реле в независимой части характеристики отключение выключателя производится пружиной реле, при работе в зависимой части — сердечником реле, как у реле РТМ.

Реле РТВ к приводам ПП-61 и ПП-67 отличается от описанного выше отсутствием переключателя отпаек и наличием механического указателя срабатывания.

Реле РТВ к приводам ВМП-10П, ВМПП-10, ВММ-10, ППВ-10 снабжено возвратной пружиной, отталкивающей боек от контрполюса и облегчающей возврат реле в исходное положение.

Проверка механической части реле РТВ выполняется в следующем объеме.

1. Проверка возврата в исходное положение сердечника реле и рычажной передачи от него к валу часового механизма. Точность возврата влияет на выдержку времени реле и достигается: а) сведением к минимуму люфтов в шарнирных соединениях *10*, *16* (см. рис. XVII.2); б) ослаблением нажатия пружины *12*, прижимающей собачку *11* к храповому колесу *8* и препятствующей полному возврату реле при чрезмерном нажатии; при этом необходимо учитывать, что чрезмерное ослабление пружины может привести к соскакиванию собачки с зубьев храпового колеса.

2. Проверка исправности часового механизма. Проверка производится осмотром и прослушиванием при медленном проворачивании оси часового механизма вручную с помощью рычага *2* или звена *4* при прямом и обратном ходе. Часовой механизм должен работать равномерно, без проскоков и заеданий. Для проверки всех зубьев храпового колеса при максимальной уставке по времени рычаг *2* следует повернуть не менее 6 раз. При меньшей уставке по времени число поворотов рычага увеличивается.

3. Проверка установки рычага на оси часового механизма. Важ-

ным условием правильной работы реле является установка начального угла между рычагом *13* и горизонтальной осью часового механизма (см. рис. XVII.2). По данным заводов, этот угол должен составлять: для РТВ завода «Электроаппарат» (привод ППМ-10) — 50°, для РТВ Рижского опытного завода «Энергоавтоматика» (приводы типа ПП-61,

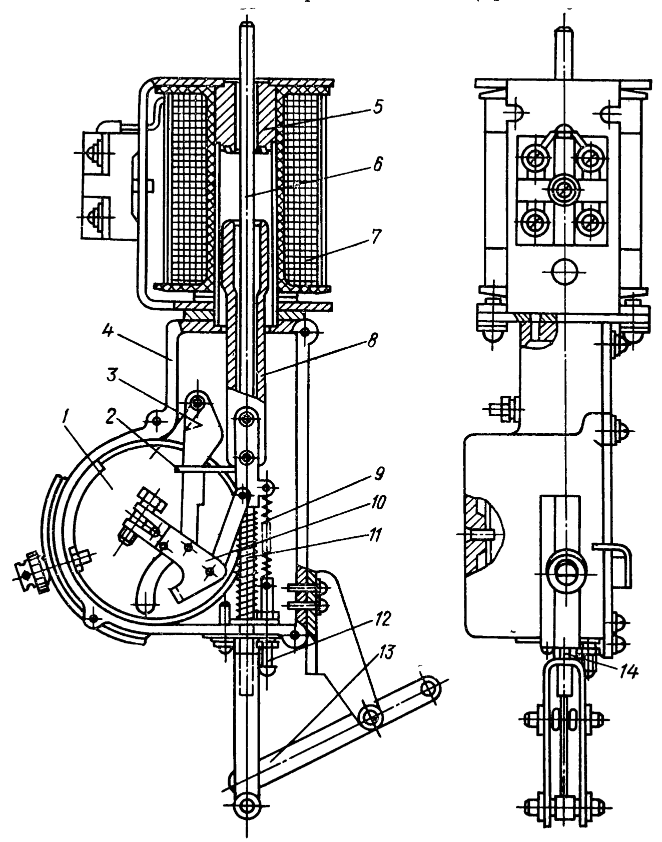


Рис. XVII.4. Общий вид реле РНВ Ровенского завода высоковольтной аппаратуры.

ПП-67) — 48 ± 1°, для РТВ Ровенского завода (приводы выключателей ВМП-10П, ВМПП-10, ВММ-10) — 55° Расцепление часового механизма происходит при повороте рычага примерно на 60° (при максимальной уставке выдержки времени); полный угол поворота рычага 85°. У реле РТВ Ровенского завода этот угол не ограничивается ходом бойка, он определяется упорами часового механизма и составляет 120°. После проверки установки рычага *13* необходимо проверить затяжку рычага *13* винтом *11*, под винт *11* должна быть установлена пружинная шайба.

4. Проверка крепления часового механизма к корпусу реле. Головки винтов, крепящих часовой механизм, после затяжки должны быть закернены во избежание их самоотвинчивания при вибрации.

Общий вид реле минимального напряжения РНВ Ровенского завода показан на рис. XVII.4. Реле работает следующим образом. В рабочем положении, когда обмотка *7* реле находится под напряжением, сердечник *8* подтянут к контрполюсу *5*. Шток *6* заперт защелкой *3*, в которую упирается укрепленная на штоке планка *2*. При снижении напряжения до напряжения срабатывания сердечник *8* под действием собственного веса и усилия регулировочной пружины *9*, которое можно регулировать винтом *12*, начинает опускаться, приводя в действие часовой механизм *1* через систему рычагов *10*. По истечении установленной выдержки времени сердечник *8* расцепляется с часовым механизмом и одним из рычагов системы рычагов *10* ударяет по нижнему концу защелки *3*, поворачивая ее вокруг оси и сбивая с штока планки *2*. Освобожденный шток *6* под действием пружины *11* движется вверх и, ударяя по релейной планке, отключает выключатель. В процессе отключения выключателя рычаг *13*, связанный тягой с валом выключателя, автоматически взводит шток *6*. При появлении на обмотке реле достаточного напряжения сердечник притягивается к контрполюсу и освобождает защелку *3*. При включении выключателя рычаг *13* освобождает шток *6*, который планкой *2* упирается в выступ защелки *3*. Реле готово к операции отключения выключателя.

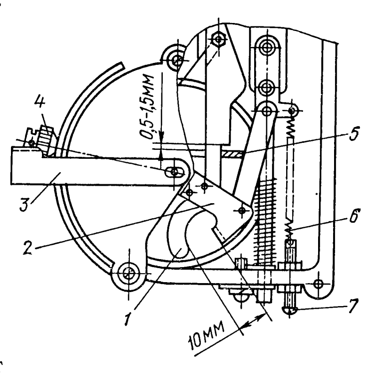


Рис. XVII.5. Схема регулировки реле РНВ Ровенского завода высоковольтной аппаратуры:

1 — защелка; *2* — рычаг; *3* — указатель срабатывания; *4* — поводок; *5* — планка; *6* — пружина; *7* — винт.

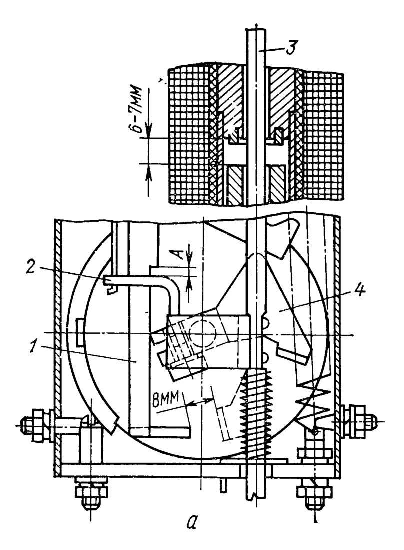
Реле РНВЛ-10 Рижского опытного завода «Энергоавтоматика» имеет ту же конструкцию, что и рассмотренное выше, и работает по тому же принципу.

При проверке механической части реле РНВ обращается внимание на: а) отсутствие затирания при движении сердечника и штока; б) наличие зазора не менее 1 мм между корпусом часового механизма *4* и всеми движущимися частями (рычагом, защелкой, планками сердечника и штока и т. д.); в) крепление рычага на валу часового механизма и крепление часового механизма к корпусу реле. Головки винтов, крепящих часовой механизм, после затяжки должны быть закернены во избежание их самоотвинчивания при вибрации; г) наличие пружинных шайб на всех винтовых соединениях; д) подвижность деталей механического указателя срабатывания, отсутствие затирания, удерживание в подтянутом состоянии.

Регулировка механической части реле РНВ Ровенского завода высоковольтной аппаратуры производится следующим образом: а) проверяется установка рычага *2* (рис. XVII.5) на валу часового механизма. Рычаг должен быть установлен таким образом, чтобы в момент расцепления часового механизма при максимальной уставке по времени зазор между рычагом и концевиком защелки *1* был не менее 10 мм; б) проверяется ход штока реле. По данным завода, он должен составлять 13^{+3}_{-1} мм. Ход штока регулируется положением гайки *14* (см. рис. XVII.4); в) при установленном реле РНВ регулируется заводящий механизм привода тягой, связывающей рычаг *13* (см. рис. XVII.4) с валом выключателя. Длина тяги подбирается таким образом, чтобы

в отключенном положении выключателя зазор между выступом защелки *1* и планкой *5* штока составлял 0,5—1,5 мм.

Регулировка реле РНВЛ-10 Рижского опытного завода «Энергоавтоматика» производится следующим образом: а) проверяется установка рычага *4* на валу часового механизма (рис. XVII.6,*а*). Рычаг должен быть установлен таким образом, чтобы в момент расцепления часового механизма при максимальной уставке по времени зазор между нижним концом защелки *1* и рычагом *4* был не менее 8 мм; б) проверяется установка упора *5* (рис. XVII.6,*б*). Упор устанавливается так, чтобы ограничивалось движение защелки *1* и при полностью отпущенном сердечнике *3* в момент касания защелки с упором зазор между защелкой и планкой *2* штока был не менее 0,5 мм; в) при установленном реле РНВ



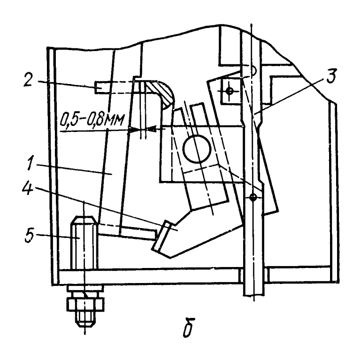


Рис. XVII.6. Схема регулировки реле РНВЛ-10 Рижского опытного завода «Энергоавтоматика»:

а — установка воздушного зазора; *б* — установка упора; *1* — защелка; *2* — планка; *3* — шток; *4* — контрполюс; *5* — сердечник.

регулируется заводящий механизм привода. Регулировка выполняется таким образом, чтобы при отключенном положении привода зазор между выступом защелки *1* и планкой *2* штока (размер *А* на рис. XVII.6,*а*) составлял 1—1,5 мм.

Блокирующее реле отделителя. В приводах отделителей устанавливаются специальные блокирующие реле (БРО), предназначенные для отключения отделителя в бестоковую паузу после включения короткозамыкателя. Общий вид реле БРО показан на рис. XVII.7. Внутри катушки *1* помещен контрполюс *2*, опирающийся на гильзу *3*. Внутри гильзы движется пустотелый сердечник *4*, через который проходит шток *5*. Сердечник отталкивается от контрполюса возвратной пружиной *6*. В нижний торец сердечника ввернут палец *7* с направляющим стержнем *8*, который проходит в отверстие двуплечего рычага *9*. Рычаг *9* другим плечом упирается в систему «ломающихся» рычагов *10*. При включении отделителя рычажный механизм заводит шток, который сжимает отключающую пружину *11* и фиксируется системой «ломающихся» рычагов *10*. В нормальном состоянии, когда ток в обмотке реле отсутствует, давление пружины *6* и вес сердечника уравновешены натяжением пружины *12*, которое может регулироваться винтом *13*.

При включении короткозамыкателя в обмотке реле появляется ток, и сердечник притягивается к контрполюсу, сжимая пружину *6*. После отключения питающей линии обмотка реле обесточивается, сердечник, отталкиваемый пружиной *6*, движется вниз и ударяет по двуплечему рычагу *9*, который выводит систему «ломающихся» рычагов *10* из «мертвого» положения; при этом освобождается пружина *11*, толкающая шток *5* вверх и отключающая отделитель.

Реле имеет следующие характеристики: обмотка 300 витков, провод ПБО диаметром 1,81 мм; номинальный ток срабатывания реле 7,5 А, первичный ток срабатывания при работе с трансформатором тока ТШЛ-0,5 составляет 500—800 А. Для трансформатора тока ТШЛ-0,5 заводом не указываются номинальное значение коэффициента трансформации, класс точности и допустимая нагрузка. По опытным данным, коэффициент трансформации примерно равен 300/5—350/5 А. Настройку реле, питающихся от трансформатора тока ТШЛ-0,5, следует производить первичным током, чтобы учесть действительные погрешности и коэффициент трансформации трансформатора тока.

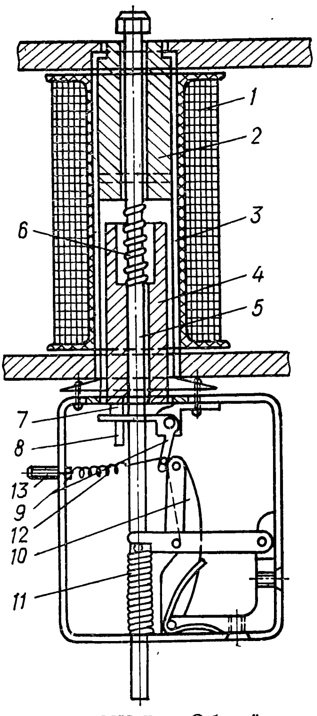


Рис. XVII.7. Общий вид блокирующего реле отделителя (БРО).

При проверке реле БРО необходимо учитывать следующее.

Нормально ток в обмотке реле отсутствует и сердечник удерживается в равновесии пружиной *12*. В этих условиях случайные сотрясения привода или конструкции, на которой он установлен, могут привести к ложному срабатыванию реле и отключению отделителя под током. Для устранения этого требуется тщательная регулировка натяжения пружины *12*. При этом необходимо добиваться надежного удерживания сердечника в состоянии равновесия и четкого срабатывания реле при отпадании сердечника. Другим фактором, определяющим регулировку механической части реле, является вибрация сердечника при прохождении по обмотке реле тока короткого замыкания. Вибрация сердечника передается на механизм реле и также может явиться причиной ложного срабатывания реле. Окончательная регулировка механизма реле выполняется при подаче в обмотку реле тока и изменении его значения от тока срабатывания до максимального значения тока короткого замыкания. При этом необходимо добиваться, чтобы вибрация сердечника не приводила к ложному срабатыванию реле.

Реле тока мгновенного действия, устанавливаемые в приводах короткозамыкателей, имеют ту же конструкцию, что и реле РТМ в приводах ППМ-10.

Для каждого реле, установленного в приводе, должна быть проверена совместная работа реле с отключающим механизмом привода. При этом должны выполняться следующие условия: а) для реле РТМ

касание бойком лапки отключающей планки должно происходить как можно позже, когда их сердечники имеют наибольшее тяговое усилие. Расстояние от бойка до лапки отключающей планки должно быть не менее 6 мм; б) для реле РТВ касание бойком лапки отключающей планки должно происходить после расцепления часового механизма. При этом расстояние от бойка до планки в момент расцепления часового механизма должно составлять 1—2 мм; для всех реле запас хода бойка после расцепления отключающего механизма должен быть около 2 мм.

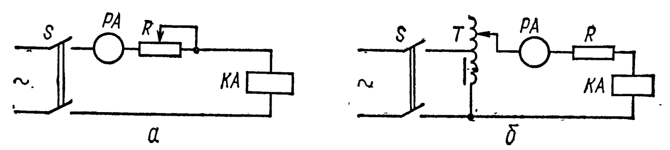


Рис. XVII.8. Схемы регулирования тока для проверки реле РТМ и РТВ:

а — с помощью реостата; *б* — с помощью автотрансформатора.

Согласование хода бойка и отключающей планки выполняется подгибанием лапок отключающей планки или изменением длины бойка (изменением положения головки бойка, навертыванием на конец бойка гайки).

Для реле, имеющих на бойках головки или гайки, должны быть приняты меры по предотвращению их самоотвинчивания при вибрации, что может привести к отказу в срабатывании защиты.

Проверка электрических характеристик реле. При выборе схемы регулирования тока для проверки реле РТМ и РТВ необходимо учитывать зависимость их сопротивления от положения сердечника (сопротивление увеличивается в 3—4 раза при подъеме сердечника). На рис. XVII.8,*а* приведена наиболее удобная и простая схема, обеспечивающая независимость тока в обмотке реле от положения сердечника при сопротивлении реостата 12—16 Ом (в 6—8 раз большем начального сопротивления реле). В схеме удобно использовать реостат с плавно-ступенчатым регулированием тока. Схема рис. XVII.8,*б* с добавочным сопротивлением 13—16 Ом позволяет получить максимальное значение тока в реле порядка 15 А. Ток срабатывания определяется при плавном увеличении тока в реле до отключения привода или срабатывания отключающего механизма. Для реле РТМ и РТВ погрешность тока срабатывания относительно тока уставки не должна превышать ± 10 %, а разброс тока срабатывания по отношению к среднему значению не должен превышать 4 %.

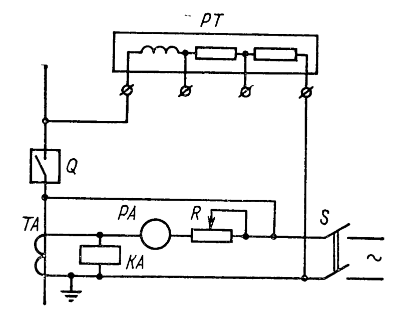


Рис. XVII.9. Схема проверки реле РТМ и РТВ вторичным током с учетом погрешностей трансформаторов тока.

Для обеспечения надежности работы защиты ток срабатывания реле РТМ рекомендуется принимать не превышающим 80 % тока срабатывания наиболее чувствительной защиты, действующей на это реле.

При настройке реле РТМ и РТВ необходимо учитывать погрешности трансформаторов тока. Для полного учета погрешностей трансформаторов тока настройку реле необходимо выполнять первичным током. На рис. XVII.9 приведена схема проверки реле вторичным током, позволяющая с достаточной точностью учитывать погрешности трансформаторов тока (ошибка составляет несколько процентов). В этой схеме ток подается на обмотку реле, включенную параллельно вторичной обмотке трансформатора тока.

Проверка коэффициента возврата реле РТВ может быть выполнена по схеме, приведенной на рис. XVII.10. При включенном выключателе *S1* и отключенном *S2* реостатом *R2* по амперметру *PA2* устанавливается предполагаемый ток возврата реле, равный 0,6—0,7 тока срабатывания. Затем включается выключатель *S2* и реостатом *R1* по амперметру *PA1* устанавливается примерно двух-трехкратный ток по отношению к току срабатывания реле. Выключатель *S1* отключается, стрелка секундомера *PT* устанавливается на нуль и выключатель *S1* включается. По секундомеру отсчитывается время, на 0,5—0,7 с меньшее выдержки времени проверяемого реле в независимой части, и в этот момент выключатель *S2* отключается (таким образом имитируется сквозное короткое замыкание и отключение его своей защитой). Опытным путем подбирается максимальное значение тока в цепи *PA2*, *R2*, при котором реле после отключения выключателя *S2* возвращается в исходное положение. Этот ток и является током возврата реле при работе реле в независимой части характеристики.

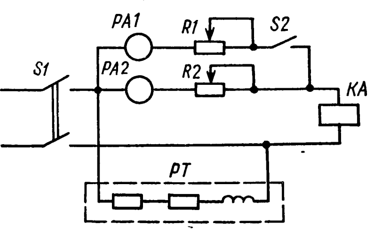


Рис. XVII.10. Схема проверки коэффициента возврата реле РТВ.

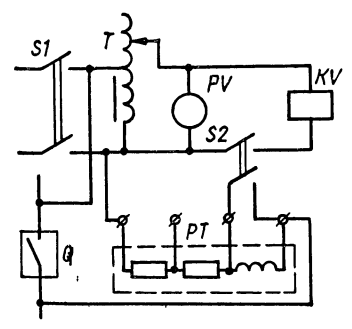


Рис. XVII.11. Схема проверки реле РНВ.

Аналогично измеряется ток возврата при работе реле в зависимой части характеристики. В этом случае суммарный ток в цепи реле устанавливается равным 1,2—1,5 тока срабатывания.

Напряжение срабатывания реле РНВ проверяется по схеме рис. XVII.11 при максимальной выдержке времени. Напряжение срабатывания определяется по началу движения сердечника. Одновременно проверяется надежность работы реле при напряжении срабатывания и максимальной выдержке времени. Проверка производится не менее 3 раз. Взвод отключающей пружины реле выполняется от руки нажатием на шток. Напряжение возврата определяется при отключенном приводе медленным подъемом напряжения на обмотке реле до полного втягивания сердечника. Напряжение срабатывания и возврата реле РНВ должно находиться в пределах заводских норм (см. табл. XVII.8).

В случае необходимости регулировка производится натяжением пружины сердечника.

Установка выдержки времени и снятие характеристик реле РТВ выполняется по схеме, приведенной на рис. XVII.9. Предварительно

устанавливается заданный ток или ток, соответствующий независимой части характеристики. Установленный ток подают в обмотку реле толчком и измеряют время срабатывания. Требуемая выдержка времени подбирается изменением положения поводка. Время срабатывания определяется как среднее трех замеров.

Снимается зависимость времени срабатывания от тока в реле $t_{ср} = f(I_р)$ на рабочей уставке. Для реле с переходом на независимую часть характеристики при кратности тока 2,5—3,5 время срабатывания рекомендуется определять при токах, равных 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 тока срабатывания; для реле с переходом на независимую часть характеристики при кратности тока 1,2—1,7 — при токах, равных 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5 тока срабатывания.

Разброс времени срабатывания в независимой части характеристики не должен превышать 0,2—0,3 с.

Время срабатывания реле РНВ проверяется по схеме, приведенной на рис. XVII.11. При взведенной пружине реле и включенном выключателе *S2* автотрансформатором *T* устанавливается номинальное напряжение на реле, затем отключается выключатель *S2* и по секундомеру *PT* определяется время срабатывания реле. Требуемая выдержка времени устанавливается изменением положения поводка. Разброс времени срабатывания по отношению к среднему из трех замеров не должен превышать 0,3—0,4 с.

Электромагнитные реле тока серии РТ-40 и реле напряжения серии РН-50

Технические характеристики реле серии РТ-40 приведены в табл. XVII.9, XVII.10. Погрешность реле составляет ± 5 % при температуре окружающего воздуха 20 °С. Коэффициент возврата реле $k_в$ не менее 0,85 на первой уставке и не менее 0,8 — на остальных. Дополнительной регулировкой достигают $k_в \geqslant 0,85$ на любой уставке шкалы, при этом на других уставках $k_в \geqslant 0,8$. Для реле РТ-40/50 и РТ-40/100 на любой уставке $k_в \geqslant 0,7$. Собственное время срабатывания реле не более 0,1 с при токе $1,2I_{уст}$ и 0,03 с при токе $3I_{уст}$. При напряжении до 220 В и токе до 2 А разрывная мощность контактов 60 Вт в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой и 300 В · А — в цепи переменного тока.

Технические характеристики реле серии РН-50 приведены в табл. XVII.11. Отклонения значений напряжения срабатывания от обозначенных на каждой уставке шкалы не более ± 8 % при температуре окружающего воздуха 20 °С. Потребляемая мощность для всех реле, за исключением РН-53/60Д, составляет около 1 В · А при напряжении минимальной уставки и не более 5 В · А при $U_н$ в первом диапазоне.

Коэффициент возврата реле РН-53 не ниже 0,8, а реле РН-54 — не выше 1,25. Разрывная мощность контактов такая же, как у реле серии РТ-40.

При проверке и регулировке реле серий РТ-40 и РН-50 должны соблюдаться следующие условия.

1. Люфт по оси подвижной системы должен быть 0,2—0,3 мм.

2. Зазоры между полкой якоря и полюсами магнитопровода при притянутом якоре должны быть одинаковыми и равными 0,8—1 мм для реле РТ-40/100 и РТ-40/200, 0,7—0,9 мм для реле РТ-40/50 и 0,6—

Таблица XVII.9. **Технические характеристики реле серии РТ-40**

Тип реле	Последовательное соединение катушек			Параллельное соединение катушек			
	Пределы уставок, А	$I_н$, А	Термическая устойчивость, $I_{дл}$	Пределы уставок, А	$I_н$, А	Термическая устойчивость $I_{дл}$, А	Потребляемая мощность реле, В·А, при минимальной уставке
РТ-40/0,2	0,05—0,1	0,5	0,55	0,1—0,2	1	1,1	0,2
РТ-40/0,6	0,15—0,3	1,6	1,75	0,3—0,6	3,2	3,5	0,2
РТ-40/2	0,5—1	3,8	4,15	1—2	7,6	8,3	0,2
РТ-40/6	1,5—3	10	11	3—6	20	22	0,5
РТ-40/10	2,5—5	16	17	5—10	32	34	0,5
РТ-40/20	5—10	18	19	10—20	36	38	0,5
РТ-40/50	12,5—25	25	27	25—50	50	54	0,8
РТ-40/100	25—50	25	27	50—100	50	54	1,8
РТ-40/200	50—100	25	27	100—200	50	54	8

Таблица XVII.10. **Технические характеристики реле серии РТ-40 с промежуточными трансформаторами**

Тип реле	Первичная обмотка		Пределы уставок по обмоткам, А	Вторичная обмотка	
	Обозначение выводов	Число витков		Число витков	Характеристика фильтра
РТ-40/Р-1	2—4	115	0,130—0,260	470	4 мкФ,
	6—8	115	0,130—0,260		250 В,
	5—7	230	0,065—0,130		100 Ом
РТ-40/Р-5	2—4	23	0,650—1,3	470	4 мкФ,
	6—8	23	0,650—1,3		250 В,
	5—7	46	0,325—0,650		100 Ом
РТ-40/1Д	2—4	30	0,5—1	470	4 мкФ,
	2—6	50	0,3—0,6		250 В,
	2—8	100	0,15—0,3		100 Ом
РТ-40/Ф	4—8	25	1,75—3,5	3050	6 мкФ,
	6—8	15	2,9—5,8		250 В,
	4—6	10	4,4—8,8		50 Гц
	2—4	5	8,8—17,6		

Примечания. 1. В реле типа РТ-40/Р для обеспечения срабатывания реле при любом виде короткого замыкания одна из обмоток с меньшим числом витков включается встречно по отношению к двум остальным. 2. Коэффициент возврата реле РТ-40/1Д и реле РТ-40/Р не ниже 0,7, реле РТ-40/Ф не ниже 0,8.

Таблица XVII.11. **Технические характеристики реле серии РН-50**

Тип реле	Номинальное напряжение, В, диапазона		Пределы уставки, В	Диапазон уставки			
				Первый		Второй	
	первого	второго		Напряжение срабатывания, В	Длительно допустимое напряжение, В	Напряжение срабатывания, В	Длительно допустимое напряжение, В
Максимального напряжения							
РН-53/60	30	60	15—60	15—30	33	30—60	66
РН-53/200	100	200	50—200	50—100	110	100—200	220
РН-53/400	200	400	100—400	100—200	220	200—400	440
РН-53/60Д	100	200	15—60	15—30	110	30—60	220
Минимального напряжения							
РН-54/48	30	60	12—48	12—24	33	24—48	66
РН-54/160	100	200	40—160	40—80	110	80—160	220
РН-54/320	200	400	80—320	80—160	220	160—320	440

0,7 мм для остальных исполнений реле серии РТ-40, 0,5—0,65 мм для реле серии РН-50. Для изменения люфта необходимо ослабить винт крепления верхней цапфы, сместить последнюю и снова затянуть винт. Для изменения зазора необходимо ослабить три винта, крепящие магнитопровод, переместить магнитопровод в нужное положение и затянуть винты.

Подвижные контактные мостики должны свободно поворачиваться на своей оси без заметного трения. Суммарный воздушный зазор между неподвижными и подвижными контактами в разомкнутом состоянии должен составлять 2—2,5 мм.

Угол поворота подвижного контактного мостика, а также расположение неподвижных контактов относительно него должны исключать возможность упора мостика в торец неподвижных контактов при повороте якоря реле на замыкание контактов. При замыкании контактов точка касания должна находиться на расстоянии не менее 1 мм от внешнего края неподвижного контакта. Ход контактного мостика по неподвижным контактам должен быть таким, чтобы он не доходил до края серебряных пластинок неподвижных контактов во избежание заскакивания контактного мостика.

Неподвижные контакты должны лежать в одной плоскости, а их оси должны быть параллельны между собой. Провал неподвижных контактов при замкнутых контактах должен быть около 0,3 мм. При полном втягивании и возвращении якоря совместный ход контактной пластинки и гибкого упора контакта должен быть 0—0,3 мм, скольжение мостика по серебру неподвижных контактов 0,6—1,5 мм.

При регулировке контактную колодку крепят в крайнем левом положении, угол встречи контактов должен быть около 30°. Угол поворота якоря должен исключать возможность одновременного замыкания мостиками замыкающего и размыкающего контактов; полка яко-

ря при этом может заходить под полюсы магнитопровода не более чем на $^2/_3$ их ширины. Ограничение поворота якоря производится упорными винтами.

Токи и напряжения срабатывания и возврата реле определяют при плавном их изменении по схемам, приведенным на рис. XVII.12. Сопротивление *R* (рис. XVII.12, *в* и *г*), включенное последовательно с обмоткой реле тока и превосходящее ее сопротивление в 7—10 раз, служит для исключения влияния перемещения якоря на значение тока в реле.

Для получения необходимого значения срабатывания на первой уставке шкалы необходимо, чтобы угол предварительного закручивания пружины был 27—30°. Для этого стрелка указателя уставки отводится влево от первой уставки на 14—15 мм, а разрезная втулка противодействующей пружины поворачивается плоским гаечным ключом так, чтобы подвижные контакты заняли нейтральное положение

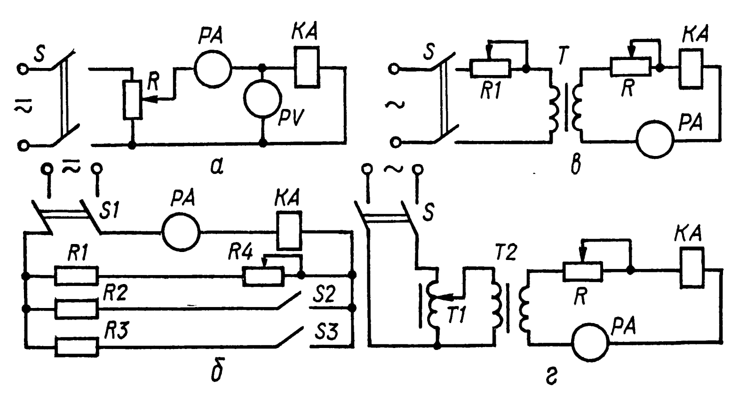


Рис. XVII.12. Схемы регулировки тока и напряжения при проверке реле тока и напряжения:

а — проверка реле напряжения и реле тока до 2—5 А; *б* — проверка реле тока на большие токи с регулировкой тока реостатом; *в* и *г* — проверка реле тока с помощью нагрузочного трансформатора.

между неподвижными контактами. Затем указатель ставится на первую уставку, и определяется ток срабатывания реле. Если ток срабатывания больше уставки, то втулка пружины поворачивается немного по часовой стрелке, если меньше — то против.

Если срабатывание на последней уставке шкалы происходит при значении меньшем, чем уставка реле, необходимое значение тока (напряжения) срабатывания может быть достигнуто выведением левого упорного винта или отгибом размыкающих контактов. Если срабатывание происходит при значении большем, чем уставка реле, необходимое срабатывание можно получить небольшим закручиванием левого упорного винта или подгибом размыкающих контактов.

Разброс тока срабатывания реле серии РТ-40 не должен превышать 4 %, напряжения срабатывания реле серии РН-50 — 5 %.

Коэффициент возврата, как правило, на первой уставке шкалы выше, поэтому важно обеспечить требуемое значение на последней уставке Регулировка коэффициента возврата производится правым упорным винтом и в крайнем случае изменением зазора между полкой якоря и полюсами магнитопровода.

При значениях срабатывания и возврата подвижная система реле РТ-40 и РН-50 не должна останавливаться в промежуточном положении, замыкание и размыкание контактов должны быть четкими

Во избежание вибрации подвижной системы реле откалибровано так, чтобы расстояние от якоря до левого упора при обесточенной цепи было 0—0,5 мм, а расстояние от притянутого якоря до правого упора — 0,5—1 мм при калибровке на первой уставке; при этом на последней уставке якорь будет лежать на упорах. Замыкающие контакты реле серии РТ-40 должны замыкаться без вибрации при токе срабатывания от $1{,}1I_{ср}$ до $30I_{ср}$ для реле РТ-40/0,2; РТ-40/0,6; РТ-40/2 и до 150 А — для реле остальных исполнений. Размыкающие контакты при отсутствии внешних толчков и вибрации должны надежно замыкать цепь при снижении тока в обмотке сработавшего реле от кратности $1{,}2—10I_{ср}$ до $0{,}6I_{ср}$. Отброс подвижной системы устраняется изменением положения упоров якоря и длины совместного хода неподвижных контактов и гибких упоров.

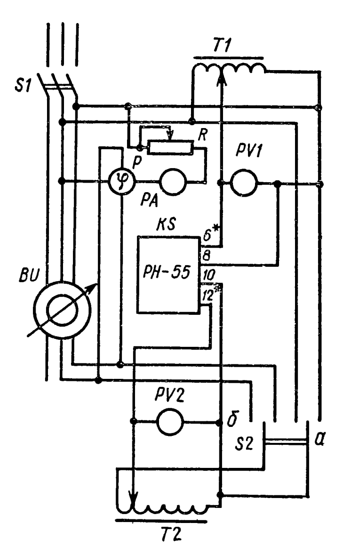


Рис. XVII.13. Схема проверки реле типа РН-55:

а — положение рубильника при проверке схемы внутренних соединений реле; *б* — положение рубильника при проверке калибровки реле.

Реле контроля синхронизма типа РН-55

Реле контроля синхронизма типа РН-55 применяются в схемах АПВ линий с двусторонним питанием для выявления напряжения на линии и угла сдвига фаз между векторами напряжений на линии и на шинах подстанции, а также в схемах блокировки от неправильной синхронизации генераторов. Реле реагирует на геометрическую разность векторов напряжений, подводимых к обмоткам реле. Реле имеют несколько исполнений, отличающихся номинальным напряжением обмоток.

Механическую часть реле проверяют в соответствии с указаниями по проверке реле серии РН-50.

Электрические характеристики реле проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.13. Для проверки правильности внутренних соединений реле рубильник устанавливают в положение *а*; при этом реле не должно срабатывать. Затем рубильник переводится в положение *б*; при номинальных значениях напряжений на обмотках реле фазорегулятором изменяется угол сдвига между напряжениями, подаваемыми на обмотки реле. Когда угол между векторами напряжений больше угла уставки, реле срабатывает, а при уменьшении угла до значения угла уставки реле возвращается в исходное положение. Углом срабатывания (возврата) считается полусумма углов срабатывания (возврата) реле при изменении угла в обе стороны (опережения и отставания). Коэффициент возврата реле по углу при номинальном напряжении— не менее 0,8.

Индукционные реле максимального тока серий РТ-80 и РТ-90

Технические характеристики реле серий РТ-80 и РТ-90 приведены в табл. XVII.12. Временные характеристики реле приведены на рис. XVII.14—XVII.16. Мощность, потребляемая реле при токе, равном току уставки, для реле серии РТ-80 составляет 10 В А, для реле серии РТ-90 — не более 30 В А. Коэффициент возврата — не менее 0,8. Катушки реле серии РТ-80 длительно выдерживают $1,1I_{ном}$, катушки реле серии РТ-90 — $1,1I_{уст}$.

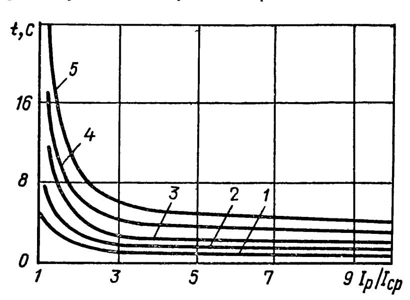


Рис. XVII.14. Временные характеристики реле типов РТ-81, РТ-83, РТ-85: 1 — уставка 0,5 с; 2 — уставка 1 с; 3 — уставка 2 с; 4 — уставка 3 с; 5 — уставка 4 с.

Контакты реле типов РТ-81 и РТ-82, а также основные контакты реле РТ-83 и РТ-84 допускают замыкание цепи постоянного тока 5 А при напряжении 220 В (разрыв цепи выполняется другим аппаратом); при размыкании контакты допускают разрыв цепи переменного тока 2 А и постоянного тока 0,5 А при напряжении до 220 В Если управляемая цепь

Таблица XVII.12. **Технические характеристики реле серий РТ-80 и РТ-90**

По току				По выдержке времени	
Тип реле	$I_{ном}$, А	Диапазон уставок индукционного элемента, А	Кратность тока срабатывания электромагнитного элемента току срабатывания индукционного элемента	Тип реле	Время срабатывания реле, с
РТ-80/1 РТ-90/1	10	4—10	2—8	РТ-81, РТ-85, РТ-91, РТ-95	0,5—4
				РТ-82	2—16
РТ-80/2 РТ-90/2	5	2—5	2—8	РТ-83	1—4
				РТ-84	1—16
				РТ-86	4—16

Примечание. Время срабатывания реле приведено при токе в реле, равном десятикратному току срабатывания.

питается от трансформатора тока и при токе 4 А имеет полное сопротивление не более 4 Ом, то контакты реле способны шунтировать и дешунтировать эту цепь при токе до 50 А. Переключающие контакты реле РТ-85 и РТ-86 способны дешунтировать управляемую цепь при токах до 150 А, если эта цепь питается от трансформатора тока и ее

полное сопротивление при токе 3,5 А не превышает 4 Ом. Коммутационная способность сигнальных контактов реле типов РТ-83, РТ-84 и РТ-86 при напряжении 220 В в цепи постоянного тока составляет

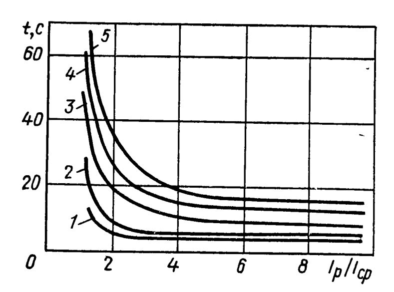


Рис. XVII.15. Временные характеристики реле типов РТ-82, РТ-84, РТ-86:

1 — уставка 2 с; 2 — уставка 4 с; 3 — уставка 8 с; 4 — уставка 12 с; 5 — уставка 16 с.

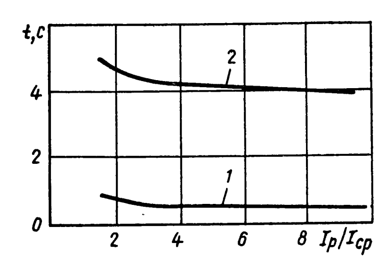


Рис. XVII.16. Временные характеристики реле серии РТ-90:

1 — уставка 0,5 с; 2 — уставка 4 с.

0,2 А, а в цепи переменного тока— 1 А. Коммутационная способность контактов реле серии РТ-90 такая же, как у соответствующих реле серии РТ-80. Погрешности реле при разных уставках времени при десятикратном токе уставки приведены в табл. XVII.13.

При проверке и регулировке реле серий РТ-80 и РТ-90 должны соблюдаться следующие условия: а) якорь отсечки должен свободно без трения поворачиваться вокруг своей оси и иметь свободный ход

Таблица XVII.13. **Погрешности реле серий РТ-80 и РТ-90**

Тип реле	Уставка времени, с	Погрешность, с	Тип реле	Уставка времени, с	Погрешность, с
РТ-81, РТ-83, РТ-85, РТ-91, РТ-95	0,5	±0,1	РТ-82, РТ-84, РТ-86	2	±0,5
	1	±0,15		4	±0,5
	2	±0,2		8	±0,6
	3	±0,2		12	±0,75
	4	±0,25		16	±1,0

по оси 0,1—0,2 мм; б) правый конец якоря с короткозамкнутым витком при срабатывании должен прилегать к магнитопроводу всей плоскостью; в) диск не должен касаться полюсов магнитной системы как в нормальном, так и в повернутом на 180° положении; г) зазоры между диском и полюсами электромагнита и постоянного магнита должны быть не менее 0,3 мм с каждой стороны; д) рамка должна свободно качаться и иметь вертикальный люфт около 1 мм; е) зубчатый сектор должен свободно вращаться на оси и иметь люфт в осевом направлении не более 0,5 мм; ж) при повороте подвижной рамки от руки сектор должен входить в зацепление с червяком не менее чем на $^1/_3$ высоты зуба на любой уставке времени; з) зазоры между контактами для всех реле, за исключением РТ-85, РТ-86 и РТ-95, должны быть для главных и сиг-

нальных замыкающих контактов, а также для главных размыкающих контактов (после срабатывания) не менее 2 мм; ограничители должны слегка касаться контактной пружины главных контактов; и) зазор между замыкающими контактами реле типов РТ-85, РТ-86 и РТ-95 должен быть 1,5 мм; к) зазор между размыкающими контактами (после срабатывания) должен быть 2 мм

Зазоры главных контактов при необходимости регулируются подгибанием упоров замыкающих и размыкающих контактов и контролируются щупом. Между сигнальными контактами в реле типов РТ-83,

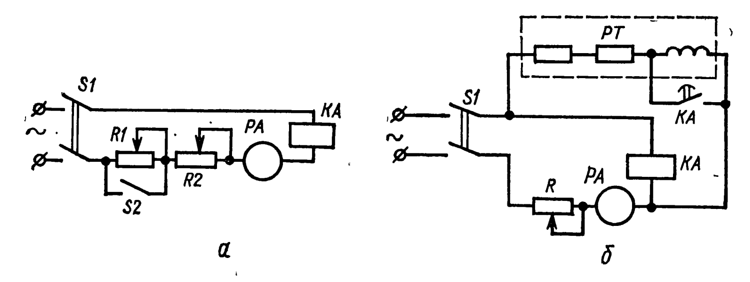


Рис. XVII.17. Схемы проверки токов срабатывания и возврата индукционного элемента (*а*) и времени срабатывания индукционного элемента (*б*) реле серий РТ-80 и РТ-90.

РТ-84 и РТ-86 зазор должен быть не менее 1,5 мм. При срабатывании реле контактная пружинная пластинка размыкающего контакта должна ложиться на упор с небольшим прогибом (0,3—0,5 мм). Для реле типов РТ-85, РТ-86 и РТ-95 нажатие в размыкающих контактах должно быть не менее 0,08 Н. При необходимости нажатие регулируется подгибанием бронзовой контактной пластины.

Электрические характеристики реле проверяют по схемам, приведенным на рис. XVII.17. Индукционный элемент реле следует проверять при питании от линейного напряжения сети и регулировке тока с помощью реостата во избежание искажения формы кривой тока. Проверку электрических характеристик реле производят в такой последовательности. Определяют значение тока начала вращения диска, которое должно соответствовать данным табл. XVII.14. Большее значение тока начала вращения диска свидетельствует о возросшем трении подпятников диска.

Таблица XVII.14. **Ток начала свободного вращения диска реле**

Тип реле	Ток уставки, А	Максимальный ток начала свободного вращения диска, А
РТ-80/1 и РТ-90/1	4	1,0
РТ-80/2 и РТ-90/2	2	0,5

Проверяют значение тока срабатывания индукционного элемента реле. Ток срабатывания индукционного элемента (минимальный ток, при котором контакты реле замыкаются под действием зубчатого сектора) не должен отличаться от тока уставки более чем на ± 5 %. Срабатывание должно быть четким: если рамка пришла в движение, то оно должно закончиться вхождением в зацепление червяка с зубча-

тым сектором. «Плавание» рамки при токе срабатывания недопустимо. Если наблюдается «плавание», то следует подогнуть стальную скобу, которая расположена внизу рамки, так, чтобы при срабатывании конец скобы приблизился к электромагниту (при этом уменьшается коэффициент возврата реле). Регулировка тока срабатывания осуществляется изменением затяжки арретирующей пружины с помощью регулировочного винта.

Отсутствие вибрации контактов проверяется в реле РТ-81, РТ-82, РТ-85, РТ-91 и РТ-95 при токе срабатывания индукционного элемента, в реле РТ-83, РТ-84, РТ-86 — при токе срабатывания элемента отсечки при его уставке на первую точку шкалы. При вибрации контактов следует подпилить чистым надфилем заклепку в магнитопроводе реле, предназначенную для предотвращения залипания якоря и вибрации контактов.

Коэффициент возврата реле проверяют по схеме, приведенной на рис. XVII.17,*а*. Резистором *R2* устанавливается ток $I_1 \approx 5I_{ср}$, затем размыканием выключателя *S2* дополнительно вводится сопротивление *R1*, снижающее ток в обмотке реле до предварительно установленного значения I_2. При сбросе тока от значений I_1 до I_2 в любом положении сектора должно произойти расцепление сектора и червяка. При необходимости коэффициент возврата изменяется регулировкой стальной скобы на рамке реле и арретирующей пружины; при этом необходимо следить, чтобы эта пружина надежно возвращала подвижную систему в начальное положение. После регулировки тока возврата проверяют ток срабатывания реле и в случае необходимости регулируют вновь

Шкалу кратностей токов отсечки проверяют толчком при крайних уставках 2 и 8 Испытания при больших токах ведутся при кратковременном включении во избежание перегрева реле. В случаях значительных расхождений тока срабатывания отсечки с уставками регулировка производится с помощью регулировочного винта отсечки.

В диапазоне уставок на кратности срабатывания от 2 до 8 завод-изготовитель гарантирует разброс точек в пределах до 15 %. Повышенный разброс точек, а также вибрация якоря отсечки являются признаком неисправности механической части реле (перекос или искривление осевой шпильки якоря отсечки; большой осевой люфт якоря; перекос якоря; затирание якоря в оси).

Применение реостатных схем при проверке токов срабатывания отсечки затруднено из-за больших токов. Практически более удобной и обеспечивающей достаточную точность является схема с нагрузочным трансформатором, с регулировкой тока реостатом в цепи первичной обмотки нагрузочного трансформатора (см. рис. XVII.12,*в*).

Проверка характеристик времени срабатывания производится по схеме рис. XVII.17,*б* при 10-кратном токе уставки.

Токовые дифференциальные реле серии РНТ

Схемы соединений и схемы включения реле серии РНТ приведены на рис. XVII.18. Принципиальная схема реле РНТ-567/2 отличается от приведенной на рис. XVII.18 схемы реле РНТ-567 в пять раз большим количеством витков каждого отвода обмотки. Исполнительный орган *КА*, резисторы $R_ш$ и $R_{к.з}$, вторичная и короткозамкнутая обмотки, магнитопроводы НТТ у всех реле серии РНТ-560 одинаковы. Реле различаются только количеством рабочих и уравнительных обмоток и

их обмоточными данными. У реле типа РНТ-565 уравнительные обмотки, если не требуется выравнивание МДС плеч защиты, могут использоваться в качестве рабочих.

Проверку реле типов РНТ-565, РНТ-566, РНТ-566/2, РНТ-567, РНТ-567/2 при новом включении выполняют в следующем объеме: внешний осмотр, проверка механической части реле, испытания изоляции, проверка электрических характеристик и параметров реле.

Внешний осмотр и испытания изоляции проводятся в соответствии с приведенными выше общими указаниями по проверке реле. Кроме

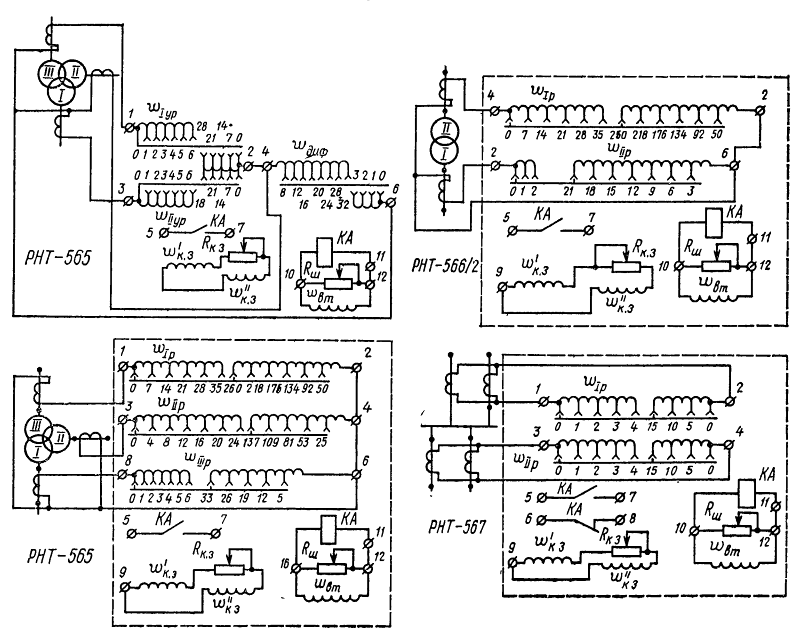


Рис. XVII.18. Схемы соединений и схемы включения реле серии РНТ: $w_р$ — рабочая обмотка; $w_{Iур}$, $w_{IIур}$, $w_{IIIур}$ — уравнительные обмотки; *КА* — исполнительный орган; $w'_{к.з}$, $w''_{к.з}$ — короткозамкнутая обмотка; $w_{вт}$ — вторичная обмотка; $R_ш$ — резистор для подстройки тока срабатывания; $R_{к.з}$ — резистор для плавной регулировки отстройки от апериодической составляющей.

того, проверяется состояние механической части насыщающегося трансформатора тока (НТТ); все винтовые соединения должны быть затянуты и иметь шайбы, штепсельные винты коммутатора должны иметь резьбу по всей длине и создавать надежный контакт между наружными и внутренними контактными элементами коммутатора. Проверка механической части исполнительного органа (реле РТ-40) рассмотрена выше.

Проверка электрических характеристик и параметров реле проводится в следующем объеме.

1. Проверка исполнительного органа без НТТ. Проверяется заводская калибровка исполнительного реле при подаче в его обмотку синусоидального тока. Реле должно сработать при токе 0,16—0,17 А и напряжении на зажимах обмотки 3,5—3,6 В. Если параметры сраба-

тывания реле отличаются от указанных, производится калибровка реле, для чего указатель реле отводят вправо до отказа и при токе 0,16—0,17 А в обмотке реле фиксируют положение якоря относительно магнитопровода (левым упорным винтом), при котором напряжение на обмотке реле составит 3,5—3,6 В Установив указатель в рабочее положение (против риски), изменением натяжения пружины добиваются срабатывания реле при токе 0,16—0,17 А. Повторно измеряется напряжение срабатывания, которое не должно выходить за пределы 3,5—3,6 В. Коэффициент возврата должен быть в пределах 0,8—0,9. При токе срабатывания и токе возврата подвижная система не должна останавливаться в промежуточном положении. Во избежание вибрации подвижной системы реле после срабатывания между якорем и правым упором должен оставаться небольшой (не более 1 мм) зазор.

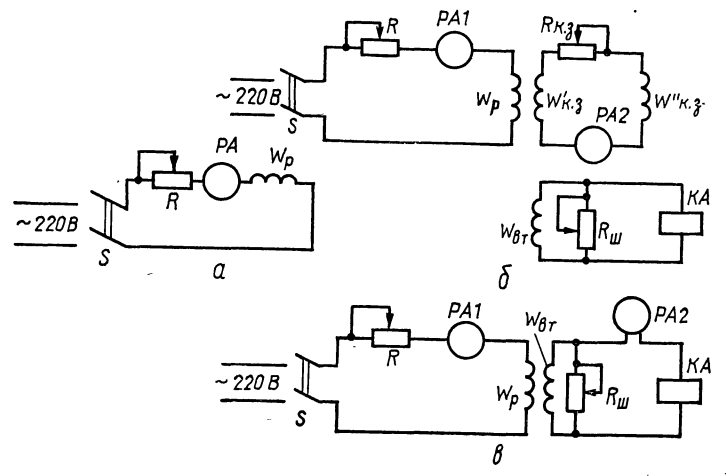


Рис. XVII.19. Схемы для проверки первичного тока и МДС срабатывания реле (*а*), правильности выполнения короткозамкнутой обмотки реле (*б*) и коэффициента надежности (*в*) реле серии РНТ.

2. Проверка магнитодвижущей силы срабатывания $F_{ср}$ и первичного тока срабатывания реле. МДС срабатывания определяется для каждого плеча защиты при максимальных витках на всех используемых обмотках при сопротивлении в цепи короткозамкнутой обмотки $R_{кз} = 0$. МДС срабатывания, равная произведению тока в плече защиты на суммарное число включенных в этом плече витков, должна быть равна 100 ± 5 А. Регулировка $F_{ср}$ осуществляется изменением сопротивления резистора $R_ш$ (хомутик резистора перемещают при ослабленном винте, проверку $F_{ср}$ производят при затянутом хомутике). При включенных расчетных витках и заданном $R_{к.з}$ проверяются первичные токи срабатывания и коэффициенты возврата реле. Проверка $F_{ср}$, первичного тока срабатывания и коэффициента возврата производится по схеме, приведенной на рис. XVII.19, *а*. После окончания настройки токов срабатывания проверяется работа контактов реле при питании одной из рабочих обмоток реле током от $1{,}05 I_{ср}$ до максимально возможного тока короткого замыкания.

3. Проверка правильности выполнения короткозамкнутой обмотки. Проверка производится при заданном значении сопротивления $R_{к.\,з}$ и при разомкнутой к. з. обмотке (обмотка размыкается на выводе *9* реле). При правильном выполнении к. з. обмотки МДС срабатывания при заданном $R_{к.\,з}$ практически не отличается от МДС срабатывания, измеренной при $R_{к.\,з} = 0$, а при размыкании к. з. обмотки МДС срабатывания уменьшается на 20—30 %. При сомнении в правильности выполнения к. з. обмотки измеряется ток в ее цепи (амперметр включается в разрыв вывода *9*) при первичном токе, соответствующем $F_{ср} = 100$ А. При правильном включении секций к. з. обмотки ток в ней практически отсутствует (рис. XVII.19, *б*).

4. Проверка коэффициента надежности. Коэффициентом надежности называется отношение синусоидального тока в обмотке исполнительного органа при заданной кратности тока в первичных обмотках к синусоидальному току срабатывания исполнительного реле. Проверка производится по схеме, приведенной на рис. XVII.19,*в*. Для определения коэффициента надежности якорь исполнительного реле заклинивается в отпавшем положении. Измеряется вторичный ток в реле электромагнитным амперметром с малым потреблением на пределе 0,5 А при МДС, равных $F_{ср}$, $2F_{ср}$ и $5F_{ср}$. Коэффициент надежности, определяемый как отношение токов в исполнительном реле при $2F_{ср}$ и $5F_{ср}$ к току в исполнительном реле при $F_{ср}$, должен быть не менее 1,2 и 1,35 соответственно.

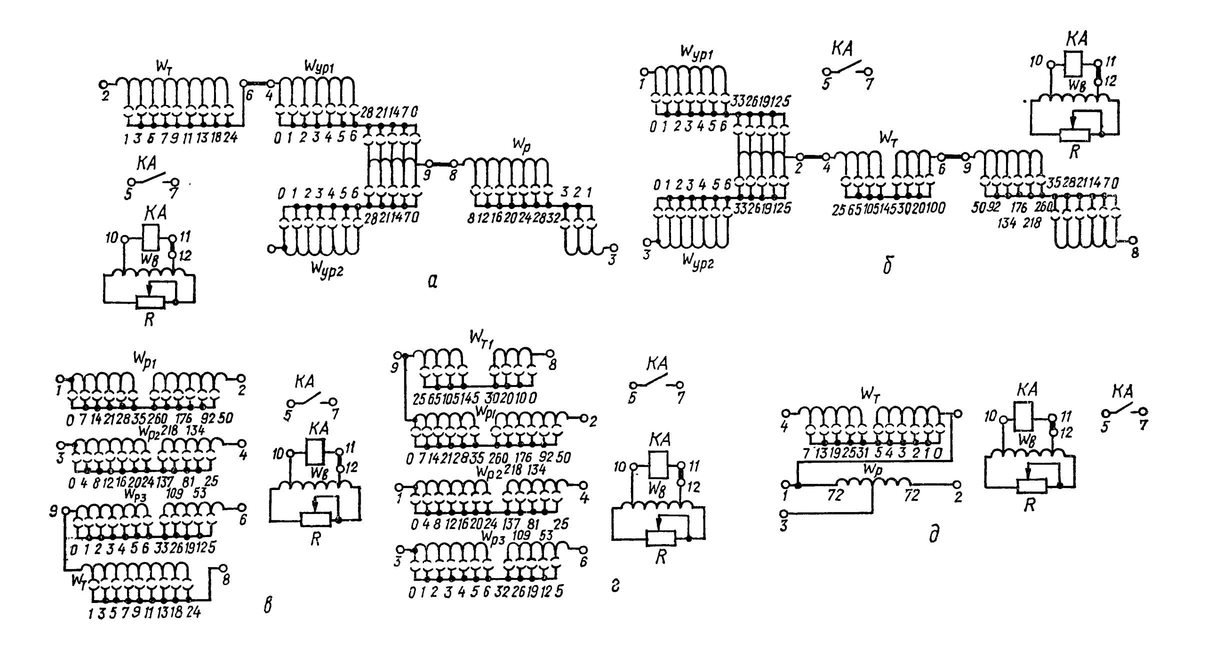
Включение амперметра в цепь вторичной обмотки несколько увеличивает сопротивление цепи, однако практически на результатах измерений это не отражается.

При сомнении в исправности реле после его ремонта, а также при предъявлении дополнительных требований к защите выполняются дополнительные проверки (проверка потребляемой мощности, определение времени срабатывания реле, характеристика намагничивания реле, характеристика отстройки от апериодической составляющей и др.). Методика их выполнения приведена в литературе и в связи с относительно редким их проведением здесь не рассматривается.

Токовые дифференциальные реле с магнитным торможением серии ДЗТ

Схемы соединений реле серии ДЗТ приведены на рис. XVII.20. Внешний осмотр, проверка механической части, проверка исполнительного органа производятся так, как для реле серии РНТ. Проверка остальных характеристик реле производится в следующем объеме.

1. Проверка МДС срабатывания. Проверка производится при отсутствии тока в тормозных обмотках и установленных расчетных витках рабочих обмоток. Измеряются токи срабатывания и возврата реле при поочередном пропускании синусоидального тока по каждой рабочей обмотке (см. рис. XVII.19,*а*). МДС срабатывания $F_{ср} = w_р I_{ср}$ должна быть одинаковой для всех рабочих обмоток и равной 100 ± ∓ 4 А. При отличии МДС от указанного значения производится ее регулировка с помощью резисторов, шунтирующих вторичные обмотки реле. Сопротивления резисторов различных обмоток должны быть примерно равны. После регулировки МДС снова измеряются токи срабатывания и возврата реле от каждой рабочей обмотки. Отличий от заданных значений практически не должно быть. Коэффициент возврата должен быть в пределах 0,6—0,8.


а
б
в
г
д

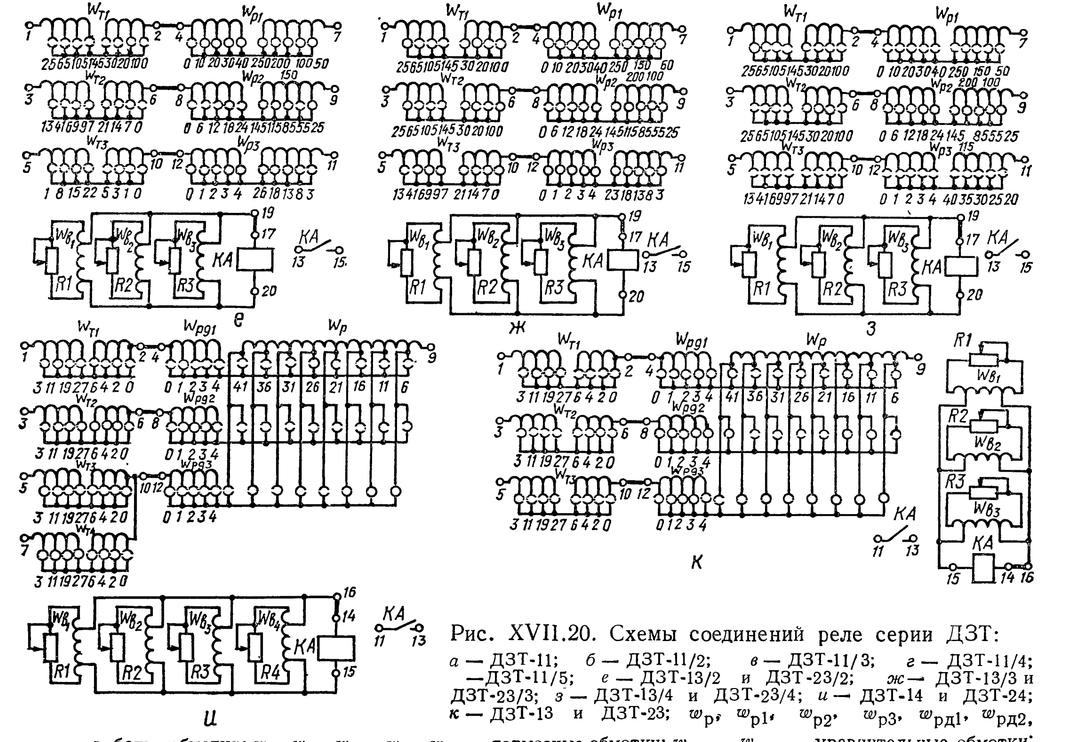


Рис. XVII.20. Схемы соединений реле серии ДЗТ:

а — ДЗТ-11; *б* — ДЗТ-11/2; *в* — ДЗТ-11/3; *г* — ДЗТ-11/4; —ДЗТ-11/5; *е* — ДЗТ-13/2 и ДЗТ-23/2; *ж* — ДЗТ-13/3 и ДЗТ-23/3; *з* — ДЗТ-13/4 и ДЗТ-23/4; *и* — ДЗТ-14 и ДЗТ-24; *к* — ДЗТ-13 и ДЗТ-23; $w_р$, $w_{р1}$, $w_{р2}$, $w_{р3}$, $w_{рд1}$, $w_{рд2}$, $w_{рд3}$ — рабочие обмотки; $w_т$, $w_{т1}$, $w_{т2}$, $w_{т3}$, $w_{т4}$ — тормозные обмотки; $w_{ур1}$, $w_{ур2}$ — уравнительные обмотки; $w_в$, $w_{в1}$, $w_{в2}$, $w_{в3}$, $w_{в4}$ — вторичные обмотки; *KA* — исполнительный орган; *R*, *R1*, *R2*, *R3*, *R4* — резисторы для подстройки тока срабатывания.

Таблица XVII.15. **Контрольные точки тормозных характеристик при нормальной регулировке исполнительного органа**

Тип реле	Тормозная цепь			Рабочая цепь				
					Торможение		Срабатывание	
	Число витков	Ток, А	МДС торможения, А	Число витков	Ток, А	МДС, $А \cdot w_р$	Ток, А	МДС, А
ДЗТ-11	$w_т = 24$	12,5	300	$w_р + w_{ур1} = 35 + 34$	3,45	240	6,1	420
ДЗТ-11/2	$w_т = 175$	1,7	300	$w_р = 295$	0,815	240	1,26	420
ДЗТ-11/3	$w_т = 24$	12,5	300	$w_{р2} = 161$	1,45	240	2,6	420
ДЗТ-11/4	$w_т = 175$	1,7	300	$w_{р2} = 161$	1,45	240	2,6	420
ДЗТ-11/5	$w_т = 36$	8,33	300	$w_р = 144$	1,67	240	2,91	420
ДЗТ-13, ДЗТ-23	$w_{т1} + w_{т2} = 33 + 33$	9,1	600	$w_р = 45$	—	—	7,35	330
ДЗТ-13, ДЗТ-23	$w_{т1} + w_{т2} \| w_{т3} = 33 + 33 \| 33$	9,1	600	$w_р = 45$	4,0	180	—	—
ДЗТ-13/2, ДЗТ-23/2	$w_{т1} + w_{т2} = 115 + 118$	2,57	600	$w_{р2} = 169$	1,05	180	1,95	330
ДЗТ-13/3, ДЗТ-13/4, ДЗТ-23/3, ДЗТ-23/4	$w_{т1} + w_{т2} = 175 + 175$	1,71	600	$w_{р1} = 290$	0,62	180	1,14	330
ДЗТ-14, ДЗТ-24	$w_{т1} + w_{т2} = 33 + 33$	9,1	600	$w_р = 45$	—	—	6,23	280
ДЗТ-14, ДЗТ-24	$w_{т1} + w_{т2} \| w_{т3} = 33 + 33 \| 33$	9,1	600	$w_р = 45$	3,55	160	—	—

Примечания. 1. В таблицу включены характеристики реле выпуска после 1967 г. (реле с сечением стали крайнего стержня НТТ 1,1 см²). 2. $w_{т2}$ и $w_{т3}$ соединяются параллельно.

После окончания настройки МДС срабатывания проверяется работа контактов реле при пропускании через одну из рабочих обмоток реле тока от $1{,}05I_{ср}$ до максимально возможного тока короткого замыкания (увеличение тока свыше $5I_{ср}$ не меняет условий работы реле вследствие насыщения магнитопровода НТТ).

2. Проверка тормозных обмоток. При разных углах между векторами токов тормозной и рабочей обмоток и при разном распределении токов по тормозным обмоткам эффекты торможения различны. Поэтому завод-изготовитель гарантирует не одну определенную тормозную характеристику, а область, в которой должна находиться любая тормозная характеристика независимо от условий ее получения (при нормальной затяжке пружины исполнительного реле). Эта область ограничивается двумя крайними характеристиками, снятыми при условиях, обеспечивающих максимальное и минимальное торможение (при расчете уставок дифференциальной защиты используются крайние

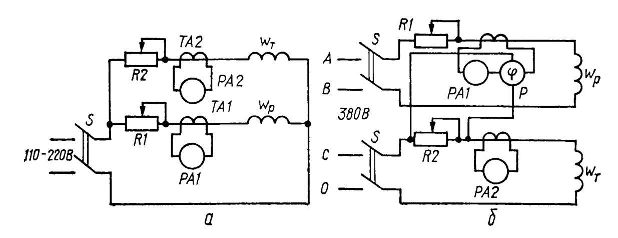


Рис. XVII.21. Схемы для проверки тормозных обмоток реле серии ДЗТ:

а — при совпадении токов по фазе; *б* — при угле сдвига токов по фазе 90°.

тормозные характеристики). Торможение наиболее эффективно при угле между векторами токов в рабочей и тормозной обмотках в диапазоне 0 ± 30° и наименее эффективно в диапазоне 90 ± 30°.

При настройке нового реле проверяется совпадение контрольных точек крайних тормозных характеристик с типовыми заводскими. Число витков рабочей и тормозной обмоток и схемы их соединений (для реле с несколькими тормозными обмотками) должны соответствовать данным, при которых производится проверка на заводе-изготовителе (табл. XVII.15). Токи тормозной и рабочей обмоток должны быть синусоидальными. При определении контрольной точки верхней характеристики токи рабочей и тормозной обмоток должны подаваться от одноименных фаз (рис. XVII.21,*а*); при определении контрольной точки нижней характеристики угол 90° между векторами токов рабочей и тормозной обмоток достигается включением одной обмотки на фазное напряжение, другой — на линейное двух других фаз (рис. XVII. 21, *б*).

Отклонение полученных значений МДС срабатывания от заводских не должно превышать 10 % Проведенная проверка свидетельствует о правильном выполнении тормозных обмоток.

3. Проверка коэффициента надежности. Проверка производится по методике, аналогичной для реле РНТ. Определение коэффициента надежности производится при последовательном включении тормозной и рабочей обмоток; число витков рабочей и тормозной обмоток устанавливается таким образом, чтобы коэффициент торможения составлял примерно 0,35 (табл. XVII.16). Коэффициент надежности должен находиться в пределах 1,2—1,3 при двукратном и 1,35—1,5 при пяти-

кратном первичном токе срабатывания. Коэффициент надежности имеет максимальное значение при отсутствии торможения и уменьшается с увеличением коэффициента торможения.

При сомнениях в исправности реле после его ремонта, а также при предъявлении дополнительных требований к защите выполняются дополнительные проверки (проверка отсутствия взаимной индукции между тормозными и вторичными обмотками, проверка тормозных характеристик, определение рабочей точки реле на кривой намагничивания НТТ, проверка потребления реле, определение времени срабатывания реле). Методика их выполнения освещена в литературе и в связи с относительно редким их проведением здесь не рассматривается.

Таблица XVII. 16. **Число витков рабочих и тормозных обмоток, соединяемых последовательно, при определении коэффициента надежности реле серии ДЗТ**

Тип реле	Число витков тормозной обмотки	Число витков рабочей обмотки
ДЗТ-11	$w_т = 24$	$w_р + w_{ур} = 35 + 31$
ДЗТ-11/2	$w_т = 55$	$w_р = 151$
ДЗТ-11/3	$w_т = 13$	$w_{р3} = 36$
ДЗТ-11/4	$w_т = 105$	$w_{р1} = 288$
ДЗТ-11/5	$w_т = 32$	$w_р = 72$
ДЗТ-13	$w_т = 21$	$w_{р1} = 45$
ДЗТ-13/2, ДЗТ-13/3	$w_т = 135$	$w_{р1} = 290$
ДЗТ-14	$w_т = 27$	$w_р = 45$

Проверка дифференциальных реле в полной схеме защиты рабочим током

Правильность включения токовых цепей в схемах защит генераторов и блоков генератор — трансформатор предпочтительно определять при испытаниях генератора в режиме короткого замыкания. Для трансформаторов (автотрансформаторов), синхронных компенсаторов и электродвигателей проверку производят током нагрузки, составляющим не менее 20% номинального.

Проверка производится в следующем порядке: а) измеряются значение и фаза тока каждого трансформатора тока, включенного в цепи дифференциальной защиты, а также токи небаланса в нулевых проводах; для трансформаторов проверка производится в режиме двустороннего питания, который создается поочередно для всех пар обмоток; б) по результатам измерений строятся векторные диаграммы токов (см. гл. XI) и проверяется правильность соединений трансформаторов тока; в) проверяется равенство произведений измеренных токов на числа витков рабочих обмоток, включенных в цепи этих токов. Их различие (МДС небаланса) должно соответствовать отклонению фактического коэффициента трансформации трансформатора от расчетных значений; г) измеряется ток небаланса в цепи исполнительного реле прибором с малым внутренним сопротивлением. Ток измеряется в нормальной схеме защиты и при исключении одного плеча. При отсутствии испытательных блоков в схеме дифференциальной защиты один из комплектов трансформаторов тока закорачивается (три фазы и нуль) и отсоединяется от остальной схемы.

В нормальной схеме защиты токи в обмотках исполнительных органов должны быть незначительными, а при исключении одного плеча должны значительно возрастать.

Вместо тока небаланса можно измерять напряжение на обмотке исполнительного реле прибором с внутренним сопротивлением не менее 1000 Ом/В.

Для измерения тока и напряжения может быть использован прибор ВАФ-85.

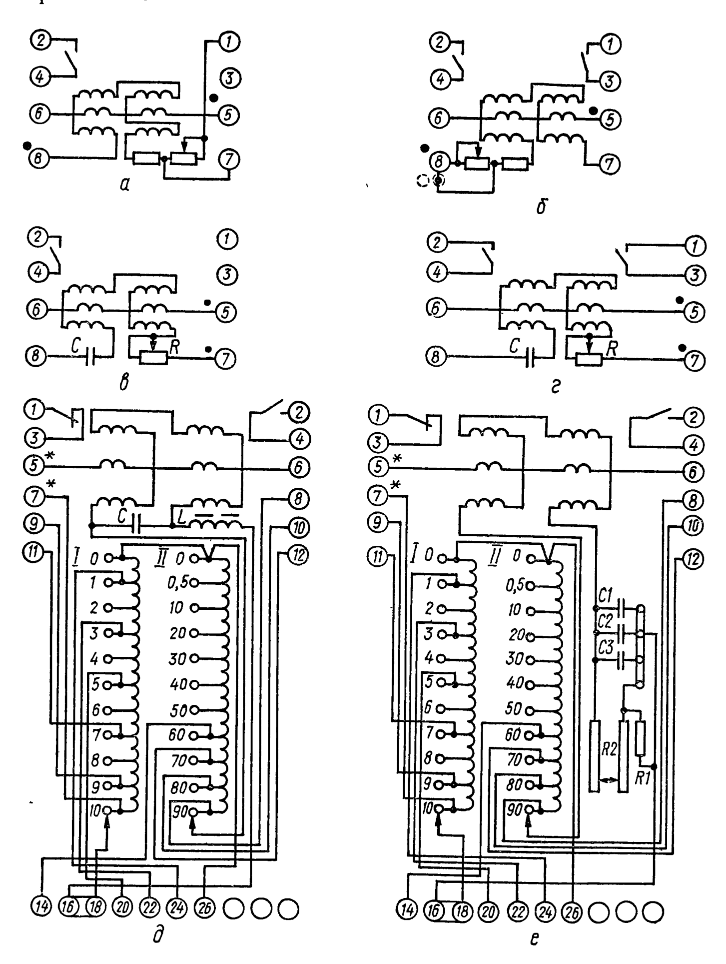


Рис. XVII.22. Схемы соединений реле серий РБМ:

а — РБМ-171; *б* — РБМ-271; *в* — РБМ-177 и РБМ-178; *г* — РБМ-277 и РБМ-278; *д* — РБМ-275; *е* — РБМ-276.

Токи небаланса в цепи реле дифференциальных защит, выполненных на однотипных трансформаторах тока, при токах нагрузки 20—100 % обычно не превышают 20—70 мА соответственно (для проверки защит параллельно работающих трансформаторов в случае малой нагрузки, недостаточной для проверки защиты, может быть использован уравнительный ток, получаемый установкой переключателей ответвле-

ний обмоток трансформаторов в разные положения). Отстройка реле от бросков тока намагничивания трансформаторов и пусковых токов электродвигателей проверяется трех— пятикратным включением их в сеть. При включении наблюдают за поведением контактной системы исполнительных реле.

Реле направления мощности

Схемы соединений реле серии РБМ приведены на рис. XVII.22.

Основные технические характеристики реле направления мощности приведены в табл. XVII.17.

Номинальное напряжение реле 100 В. Цепи тока всех реле термически устойчивы до 1,1 $I_{ном}$. Цепи напряжения всех реле, кроме РБМ-178 и РБМ-278, термически устойчивы до 110 В. У реле РБМ-178 и РБМ-278 цепи напряжения допускают только кратковременную подачу напряжения. Время действия реле 0,04 с при трехкратной мощности срабатывания реле.

Таблица XVII.17. **Основные технические характеристики реле направления мощности**

Тип реле	Угол максимальной чувствительности, °	Номинальный ток, А	Минимальная мощность срабатывания, В · А, при $I_{ном}$	Потребление мощности, В · А		Дополнительное сопротивление, Ом		Емкость конденсатора, мкФ
				цепи тока	цепи напряжения	R_1	R_2	
РБМ-171/1	—30	5	3	10	40	47	—	—
РБМ-171/1	—45	5	4	10	35	47	180	—
РБМ-171/2	—30	1	0,6	10	40	47	—	—
РБМ-171/2	—45	1	0,8	10	35	47	180	—
РБМ-177/1	70	5	3	10	35	390	—	8
РБМ-177/2	70	1	0,6	10	35	390	—	8
РБМ-178/1	70	5	1	10	90	180	—	16
РБМ-178/2	70	1	0,2	10	90	180	—	16
РБМ-271/1	—30	5	3	10	40	47	—	—
РБМ-271/1	—45	5	4	10	35	47	180	—
РБМ-271/2	—30	1	0,6	10	40	47	—	—
РБМ-271/2	—45	1	0,8	10	35	47	180	—
РБМ-277/1	70	5	3	10	35	390	—	8
РБМ-277/2	70	1	0,6	10	35	390	—	8
РБМ-278/1	70	5	1	10	90	180	—	16
РБМ-278/2	70	1	0,2	10	90	180	—	16
РБМ-275/1	0	5	10—500	5	25	—	—	10
РБМ-275/2	0	1	2—100	5	25	—	—	10
РБМ-276/1	90	5	6—500	5	30	1500	2600	0,5; 3; 1
РБМ-276/2	90	1	1,2—100	5	30	1500	2600	0,5; 3; 1

Примечания. 1. Потребление мощности цепей тока и напряжения дано при токе, равном 110 % $I_{ном}$ и напряжении 110 В. 2. У реле РБМ-171, РБМ-271 однополярные зажимы 5 и 8; у реле остальных типов однополярные зажимы 5 и 7.

В программу проверки реле РБМ при новом включении входят: внешний осмотр, проверка механической части реле, испытание изоляции, проверка электрических характеристик реле.

Внешний осмотр и испытание изоляции выполняются в соответствии с приведенными выше общими указаниями по проверке реле.

Проверка механической части реле

Проверка механической части реле проводится в следующем объеме.

1. С помощью лупы и иглы проверяют состояние верхнего и нижнего подпятников и концов оси барабанчика. Если при этом обнаруживают шероховатости и трещины, то подпятник заменяют, а оси заполировывают. Вертикальный люфт подвижной системы должен составлять 0,3—0,5 мм.

2. Проверяют легкость хода подвижной системы при полностью ослабленной пружине и при больших углах поворота подвижной системы (плата с неподвижными контактами и упорами снимается). Зазоры между барабанчиком и полюсами должны быть равномерными и иметь значение порядка 0,4—0,5 мм. Механическое состояние подвижной системы можно считать удовлетворительным, если при отклонении ее рукой примерно на 90° колебания подвижной системы прекратятся после 8—10 отклонений от среднего положения.

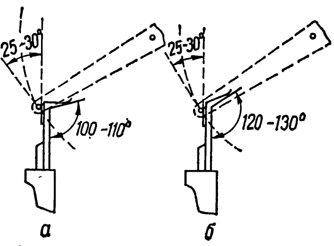


Рис. XVII.23. Регулировка контактов реле серии РБМ.

3. Проверяют контактную систему реле. Для этого неподвижные контакты устанавливают в соответствии с рис. XVII.23. Ограничитель нижней контактной пластины должен иметь угол изгиба 100—110° (рис. XVII.23,*а*). Ограничитель верхней контактной пластины должен иметь угол изгиба 120—130° (рис. XVII.23,*б*). Нижняя контактная пластина, более жесткая, своим хвостовиком не должна касаться заднего ограничителя и должна перемещаться по нему при усилии на контакте 0,02—0,03 Н (измерения производят граммометром). Передний упор нижней контактной пластины устанавливается так, чтобы он не касался контактной пластины (зазор 0,2—0,3 мм). Верхняя контактная пластина, более мягкая, хвостовиком не должна касаться заднего ограничителя (зазор 0,2—0,3 мм) и быть впереди нижней контактной пластины на 0,2—0,3 мм, чтобы штифт подвижного контакта при замыкании контактов касался сначала более мягкой верхней контактной пластины. Верхняя контактная пластина должна касаться переднего упора, но не оказывать давления. Контактная колодка устанавливается так, чтобы угол встречи подвижных и неподвижных контактов составлял 25—30°. Касание контактов должно происходить на переднем крае контактной поверхности неподвижных контактов, и ход подвижных контактов на этой поверхности должен быть ограничен передним упором, чтобы не было заскакивания подвижного контакта за задний край неподвижного контакта. Штифт подвижного контакта не должен подходить к заднему краю неподвижных контактов ближе 2 мм. Изменяя с помощью переднего упора прогиб жесткой контактной пластины, получают «мягкую» или «жесткую» регулировку контактов. При «мягкой» регулировке прогиб жесткой контактной пластины должен быть по-

рядка 1,5—2 мм, при жесткой регулировке — порядка 0,5 мм. Следует иметь в виду, что при «мягкой» регулировке контактов время возврата реле увеличивается до 0,025—0,03 с. Расстояние между контактами регулируется задним упором подвижной системы и должно составлять 1—1,5 мм.

4. Проверяют отсутствие залипания на переднем и заднем упорах подвижной системы Упоры должны быть тщательно зачищены.

5. Проверяют состояние токоподводов. Лента токоподвода должна иметь правильную форму без надломов и вмятин. При полностью освобожденной моментной пружине токоподвод не должен воздействовать на подвижную систему реле

6. Проверяют состояние моментной пружины. Моментная пружина должна иметь форму правильной спирали, лежащей в плоскости, перпендикулярной оси подвижной системы реле, витки пружины не должны касаться друг друга при повороте оси в рабочих пределах, между витками должен сохраняться равномерный зазор.

Проверка и регулировка электрических характеристик

Проверка и регулировка электрических характеристик реле, как правило, производятся с помощью специальных комплектов испытательной аппаратуры (см. гл. IV). При отсутствии специальных комплектов испытательной аппаратуры проверку реле можно производить по схеме, приведенной на рис. XVII.24.

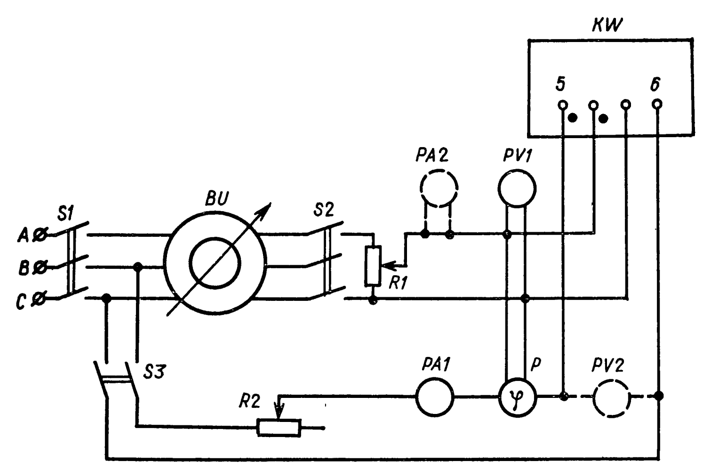


Рис. XVII.24. Схема для проверки электрических характеристик реле серии РБМ.

Проверка электрических характеристик проводится в следующем объеме.

1. Проверка потребления. Проверку выполняют по схеме, приведенной на рис. XVII.24 (на время проверки включают миллиамперметр *PA2* и вольтметр *PV2*, показанные на схеме пунктиром). В цепи напряжения потребление определяют при напряжении 100 В; в цепи тока —

при номинальном токе реле. Полученные значения не должны отличаться от приведенных в табл. XVII.17 более чем на 10—12 % (следует иметь в виду, что в табл XVII.17 приведены значения потребления при $1{,}1I_{ном}$ и напряжении 110 В).

2. Проверка и устранение самохода реле от тока и напряжения. Самоход (появление вращающего момента любого знака при подаче на реле либо только тока, либо только напряжения) проверяют при полностью ослабленной пружине реле. Самоход по напряжению проверяют путем подачи на реле напряжения 0—110 В при разомкнутой токовой обмотке. По току самоход проверяют подачей тока, изменяющегося от нуля до расчетного значения вторичного тока короткого замыкания (кратковременно) при накоротко замкнутой обмотке напряжения. Как правило, самоход устраняют поворотом вокруг своей оси стального сердечника, находящегося внутри барабанчика. Срез на сердечнике по образующей, повернутый соответствующим образом, может компенсировать несимметрию магнитного потока, являющуюся причиной самохода. В крайнем случае самоход может быть устранен или уменьшен путем незначительного сдвига полюсов магнитной системы, не имеющих катушек (системы напряжения). Если полное устранение самохода невозможно, допускается оставление незначительного вращающего момента, вызывающего движение контактов на размыкание при рабочей затяжке пружины. В реле типа РБМ-270 двустороннего действия самоход должен быть устранен полностью, так как оба направления движения контактной системы являются рабочими.

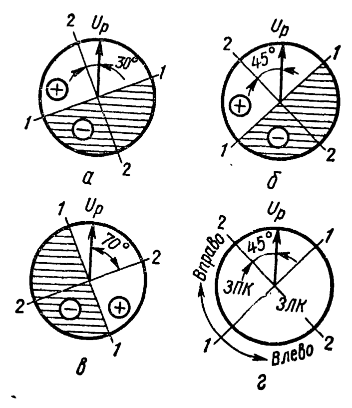


Рис. XVII.25. Угловые характеристики реле направления мощности серии РБМ:

а — РБМ-171 без добавочного сопротивления; *б* — РБМ-171 с добавочным сопротивлением; *в* — РБМ-177, РБМ-178; *г* — РБМ-271; *1—1* — линия изменения знака моментов; *2—2* — линия максимальных моментов; незаштрихованная часть окружности — зона действия реле на отключение; заштрихованная — зона действия реле на заклинивание; *ЗПК* и *ЗЛК* — замыкание соответственно правого и левого контактов.

3. Проверка зоны действия, угла максимальной чувствительности и однополярных зажимов реле. Зону действия и угол максимальной чувствительности реле определяют при рабочей затяжке возвратной пружины. К реле подводятся номинальные напряжение и ток. При подключении учитывают обозначения (звездочкой) начала обмоток тока и напряжения. С помощью фазорегулятора изменяют угол сдвига между током и напряжением от нуля до 360° и по фазометру отмечают углы, при которых происходит замыкание и размыкание контактов.

Затем строят упрощенную угловую характеристику реле: на миллиметровую бумагу в масштабе наносят вектор напряжения реле $U_р$; проводят окружность с центром в начале координат радиусом, равным вектору напряжения реле; в качестве линии отсчета углов принимают вектор напряжения (рис. XVII.25), отсчет углов ведут по часовой стрелке; на окружности транспортиром отмечают точки, соответствующие замыканию и размыканию контактов реле; через эти точки проводят линию (нулевых моментов), делящую окружность на две равные

части, и отмечают зону действия реле (часть окружности, соответствующую замкнутому состоянию контактов); через центр окружности проводят линию, перпендикулярную проведенной раньше, которая является линией максимальных моментов; с помощью транспортира определяют угол между вектором напряжения реле и линией максимальных моментов — угол максимальной чувствительности реле. Отклонение угла максимальной чувствительности от номинальных данных допускается в пределах до 5°. Однополярные зажимы реле определяют на основании тщательной проверки соответствия собранной схемы схеме на рис. XVII.24 в части подключения фазометра и реле, а также анализа угловой характеристики. Если схема выполнена без отступлений и угол максимальной чувствительности близок к паспортному значению, однополярные зажимы обозначены правильно.

4. Проверка чувствительности реле. Чувствительность проверяют при рабочей затяжке возвратной пружины. Измерение выполняют при угле максимальной чувствительности и номинальном токе реле. Плавно повышая напряжение на обмотке напряжения реле, добиваются его срабатывания. Чувствительность реле, т. е. минимальная мощность срабатывания его, определяется по выражению

$$P_{ср} = U_{ср} I_{р.\,ном}\ [В \cdot А],$$

где $U_{ср}$ — напряжение срабатывания реле; $I_{р.ном}$ — номинальный ток токовой обмотки реле. Мощность срабатывания не должна превышать значений мощности срабатывания, приведенных в табл. XVII.17. Одновременно определяется коэффициент возврата реле, который должен быть не менее 0,6. Если нет вольтметра на малые пределы измерения, можно измерять чувствительность при токе, равном 20—40 % номинального. Чувствительность реле определяется углом затяжки возвратной пружины. Нормальная заводская затяжка пружины реле серии РБМ имеет угол около 120°. Для большинства схем релейной защиты угол затяжки пружины колеблется в пределах 90—180°. Для реле РБМ-270 чувствительность реле проверяется на замыкание левого и правого контактов отдельно. Значительные отклонения чувствительности реле указывают на механическую неисправность или на дефекты в регулировке реле. Если нет фазометра и фазорегулятора, проверку чувствительности можно выполнять не при угле максимальной чувствительности, а при углах, близких к нему (± 30°). Мощность срабатывания реле при этом существенно не изменяется.

5. Проверка работы контактов реле. Работу контактов реле проверяют при подаче мощности срабатывания, а также при подаче и отключении обратной мощности. Нагрузка контактов реле должна быть такой же, как и в схеме защиты. Контакты должны надежно замыкаться без искрения, вибрации и отбрасываний. Искрение при размыкании контактов должно быть небольшим, не вызывающим их подгорания. Не допускается залипание контактов реле на упоре. Проверку ведут при мощностях на реле от 1,2 $P_{ср}$ до максимально возможной $P_{макс}$, которая может быть определена по формулам:

для защиты от межфазных коротких замыканий

$$P^{(2)}_{макс} = \frac{3U_л I^{(3)}_{к.\,з}}{4n_{т.\,т} n_{т.\,н}},$$

для защиты от замыкания на землю

$$P_{макс} = \frac{9U_0 I_0}{n_{т.\,т} n_{т.\,н.\,р.\,ф}},$$

где $P^{(2)}_{макс}$ — максимальная мощность, подводимая к реле при двухфазном коротком замыкании на защищаемом присоединении у шин подстанции; $I^{(3)}_{к.\,з}$ — ток трехполюсного короткого замыкания при коротком замыкании на защищаемом присоединении у шин подстанции; $U_л$ — номинальное линейное напряжение, подводимое к реле; U_0 и I_0 — соответственно напряжение нулевой последовательности на обмотке реле и ток нулевой последовательности, проходящий через обмотку при однополюсном коротком замыкании на защищаемом присоединении у шин подстанции; $n_{т.\,т}$, $n_{т.\,н}$, $n_{т.\,н.\,р.\,т}$ — коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов тока, основных обмоток трансформатора напряжения и обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник.

Работу контактов реле при подаче и отключении обратной мощности проверяют, если отбрасывание контактов может вызвать ложное действие защиты. На реле подают обратную (размыкающую контакты) мощность от $10P_{ср}$ до максимально возможного значения обратной мощности при коротком замыкании на шинах подстанции, затем сбрасывают ее одновременным отключением тока и напряжения. При этом не должно быть сильного отбрасывания подвижной системы от упора и замыкания контактов. Если устранить замыкание контактов реле направления мощности при сбросе обратной мощности не удается, то в действие защиты должно быть введено достаточное замедление.

У реле типов РБМ-275 и РБМ-276 устанавливается еще и заданная мощность срабатывания путем подключения соответствующих отпаек обмоток автотрансформатора ввинчиванием по одному штепсельному винту в пластины *I* и *II* (рис. XVII.22). Сумма цифр *n* на пластинах определяется из выражения

$$n = \frac{2NI_{ном}}{P},$$

где $P = U_р I_р$; $I_{ном}$ — номинальный ток реле; N — число витков обмотки автотрансформатора, к которым подводится напряжение $U_р$. По условиям термической устойчивости должно соблюдаться условие $N \geqslant 60$. Подрегулировку мощности срабатывания можно производить затяжкой спиральной пружины в пределах 150—200°. У реле типа РБМ-276 с помощью конденсаторов *C1*, *C2*, *C3* и резистора *R2* устанавливается заданный угол максимальной чувствительности.

Проверка правильности включения реле направления мощности под нагрузкой

При проверке защиты от многофазных коротких замыканий (см. гл. XI) снимаются векторные диаграммы токов и напряжений, подаваемых на реле, на основании векторных диаграмм определяется правильность выполнения цепей защиты. При снятии векторной диаграммы направление активной и реактивной мощностей в первичных цепях должно быть точно определено с помощью заведомо правильно включенных приборов или созданием режимов работы, при которых направление мощности однозначно.

На полученной векторной диаграмме строятся линии изменения знака вращающего момента и определяются зоны работы и заклинивания реле. На рис. XVII.26 в качестве примера приведена векторная диаграмма токов и напряжений, на которой нанесены линии изменения

знака вращающего момента для реле фаз A, B, C, включенных по 90-градусной схеме и имеющих угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч} = 30°$ Реле всех фаз должны четко заклинивать, так как токи, протекающие в них, расположены в зоне заклинивания реле. Реле фазы A при подаче на него тока фазы C должно сработать. Соответственно реле направления мощности фазы B должно сработать от тока фазы A; реле фазы C — от тока фазы B.

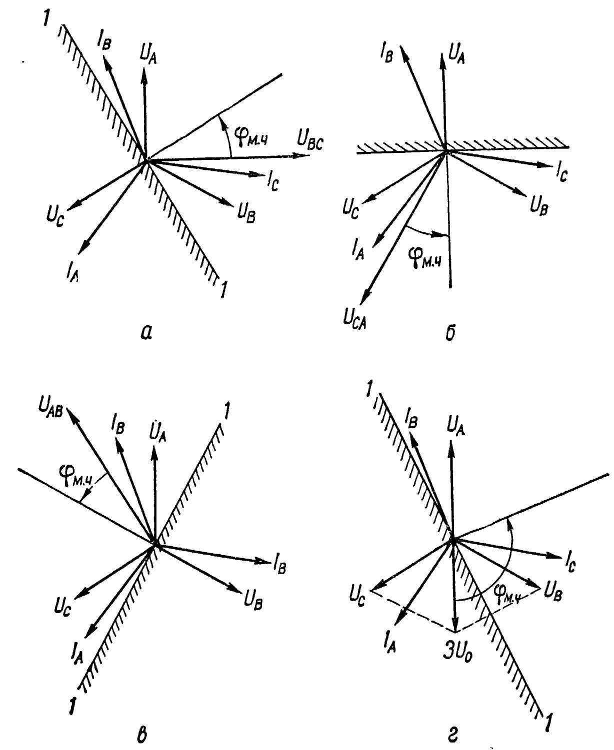


Рис. XVII.26. Зоны работы реле направления мощности на векторной диаграмме первичных токов и напряжений:
а — для фазы A; *б* — для фазы B; *в* — для фазы C; *г* — для тока $3\ I_0$ при однофазном коротком замыкании на фазе A.

Реле считается включенным правильно, если направление момента реле (на срабатывание или заклинивание) соответствует направлению вектора тока, проходящего через токовую обмотку реле, на совмещенной векторной диаграмме и зоне действия реле.

Если вектор тока, подведенного к реле, располагается вблизи линии изменения знака момента и момент на реле очень мал, для проверки действия реле в его обмотку подают ток другой фазы и по поведению реле и векторной диаграмме определяют правильность его работы.

Правильность действия реле направления мощности защит от замыкания на землю проверяется имитацией условий, возникающих

при замыкании одной из фаз линии на землю. Для имитации однофазного короткого замыкания на землю к реле подводятся ток поврежденной фазы и напряжение нулевой последовательности, равное $3U_0$, т. е. сумме напряжений неповрежденных фаз. Напряжение, равное $3U_0$, может быть подано на реле с помощью дополнительного вывода (испытательной жилы) от вторичной обмотки, соединенной в разомкнутый треугольник. Для оценки правильности действия реле снимается векторная диаграмма токов и напряжений, подводимых к обмоткам реле (методика определения положения вектора $3U_0$ приведена в гл. XI).

Как и при испытании направленных защит от многофазных повреждений, при снятии векторной диаграммы должны быть точно известны направления активной и реактивной мощностей в первичных цепях.

На векторной диаграмме строится линия изменения знака момента реле. На рис. XVII.26 показана линия изменения знака момента реле, имеющего угол максимальной чувствительности 110° и включенного на сумму напряжений $U_B + U_C = 3U_0$. Из рис. XVII.26,*г* следует, что при правильном включении реле его контакты должны замыкаться при подаче тока фазы *С* и заклинивать при подаче тока фазы *А*. Схемы переключения токовых цепей на входе панели для имитации однофазного короткого замыкания приведены на рис. XVII.27. После того как установлена правильность включения реле направления мощности и восстановлены цепи тока и напряжения, следует измерить ток небаланса в нулевом проводе и напряжение небаланса на обмотке напряжения реле направления мощности.

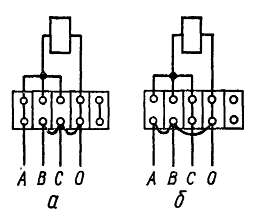


Рис. XVII.27. Схемы переключения токовых цепей для имитации однофазного короткого замыкания:
а — замыкание фазы *А*; *б* — замыкание фазы *С*.

Проверка правильности включения реле направления мощности поперечных дифференциальных направленных защит аналогична рассмотренной выше проверке направленных защит от многофазных замыканий и однофазных замыканий на землю. Различие заключается в том, что векторная диаграмма строится для комплекта трансформаторов тока каждой линии. При правильном выполнении токовых цепей геометрическая сумма векторов токов одноименных фаз обеих линий равна нулю (при равномерной нагрузке между линиями) На совместную векторную диаграмму наносятся зоны работы реле направления мощности и оценивается правильность отклонения контактной системы реле при имитации повреждения на каждой из линий. Имитация осуществляется поочередным закорачиванием и исключением из схемы трансформаторов тока каждой из линий. На рис. XVII.28,*а* в качестве примера приведены векторная диаграмма и зоны действия реле типа РБМ-271 фазы *А*, включенного по 90-градусной схеме (на напряжение U_{BC}). При направлениях активной и реактивной мощностей от шин подстанции в линию и исключении из схемы трансформаторов тока линии II (имитация повреждения на линии I) реле должно под действием тока $I_{A\mathrm{I}}$ линии I замкнуть контакты на отключение линии I; при исключении трансформаторов тока линии I реле под действием тока $I_{A\mathrm{II}}$ линии II должно замкнуть контакты на отключение линии II. Проверка проводится пофазно для каждого реле. Правильность включения реле направления мощности двустороннего действия типа РБМ-278 комплекта защиты от замыканий на землю проверяется так же, как и для направленных защит от однофазных замыканий, но учитываются особенности проверки попе-

речных дифференциальных защит. На рис. XVII.28,*б* приведены векторная диаграмма и зоны действия реле типа РБМ-278. Из рисунка следует, что при направлениях активной и реактивной мощностей от шин подстанции в линию при закороченных трансформаторах тока линии II и при подаче тока фазы *А* линии I (I_{AI}) реле замкнет контакты на отключение линии I; при подаче тока фазы *В* (I_{BI}) в реле будет слабый момент на отключение линии I и при подаче тока фазы *С* (I_{CI}) замкнутся контакты реле на отключение линии II. Аналогично проверяется действие реле при закорачивании трансформаторов тока линии I. После проверки правильности включения реле и восстановления цепей тока и напряжения измеряются токи небаланса в дифференциальных цепях (в фазных и нулевом проводах) и напряжение небаланса на обмотке напряжения реле РБМ-278.

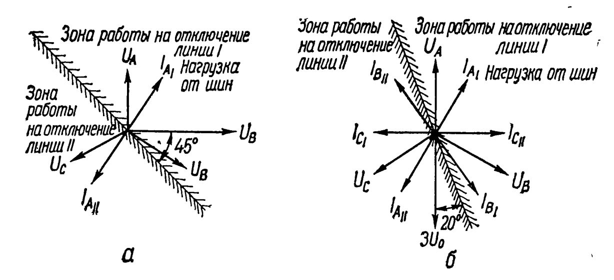


Рис. XVII.28. Диаграмма проверки рабочим током правильности включения реле направления мощности поперечной дифференциальной защиты параллельных линий.

Фильтры-реле тока и напряжения обратной последовательности

Фильтр-реле тока типа РТФ-1М

Принципиальная схема реле приведена на рис. XVII.29. Реле состоит из активно-трансформаторного фильтра тока обратной последовательности (ФТОП), выпрямительного моста и исполнительного органа (реле напряжения серии РН-50).

Проверка электрических характеристик реле начинается с настройки фильтра. Настройка фильтра оценивается по идентичности его работы при имитации всех видов двухфазных и однофазных замыканий. При имитации каждого вида короткого замыкания измеряется значение тока на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле. Фильтр считается настроенным, если при имитации каждого вида короткого замыкания отклонения значения тока срабатывания не превышают 2—3 % среднего значения и отношение средних значений тока срабатывания при имитации однофазных коротких замыканий к токам срабатывания при имитации двухфазных коротких замыканий близко к $\sqrt{3}$. При больших отклонениях производится регулировка фильтра, которая заключается в изменении сопротивлений переменных резисторов до получения расчетных значений соотношений между его элементами. Для этого в одну первичную обмотку трансформатора тока *ТА1* и одну трансреактора *ТА2* подается однофазный синусоидальный ток

$2I_{ном}$ так, чтобы направления тока в них были встречными (выводы *5—6*), и при снятой накладке *11—12* измеряют падения напряжений U_{R1} и U_{R2} на резисторах *R1* и *R2* и напряжение на выходе фильтра $U_ф$ вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 1000 Ом/В. При настроенном фильтре все три напряжения должны быть равны. При отсутствии равенства регулировку начинают с изменения сопротивления резистора *R2*. Затем изменением сопротивления резистора *R1* уравниваются падения напряжений U_{R1} и U_{R2} и измеряется напряжение $U_ф$. Если измеренное значение $U_ф$ отличается от U_{R1} и U_{R2}, то сначала регулируют резистор *R2* (при $U_ф > U_{R2}$ сопротивление резистора *R2* надо увеличить, а при $U_ф < U_{R2}$ — уменьшить). Затем *R1* изменяют до получения равенства $U_{R2} = U_{R1}$, измеряют $U_ф$, и так несколько раз до достижения равенства $U_{R1} = U_{R2} = U_ф$; расхождение не должно превышать 3—5 %.

При наличии приборов с малым потреблением для измерения углов сдвига (например ВАФ-85) настройку фильтра можно производить, измеряя угол сдвига между первичным током и напряжением U_{R2}, который должен быть равен 60°, или угол между напряжениями U_{R1} и U_{R2}, который должен быть равен 120°. Регулировка угла осуществляется изменением сопротивления резистора *R2*. Затем, как и в первом случае, сопротивление резистора *R1* изменяется до получения равенства $U_{R1} = U_{R2}$ и измеряется $U_ф$, которое должно быть примерно равным U_{R1} и U_{R2}. После настройки фильтра любым из приведенных способов повторяют проверку при подаче тока в другие первичные обмотки *TA1* и *TA2*, для чего ставят перемычку между выводами *2—3* и подают синусоидальный ток на выводы *1—4*. При удовлетворительной настройке фильтра отклонения в замерах не должны превышать 3—5 %.

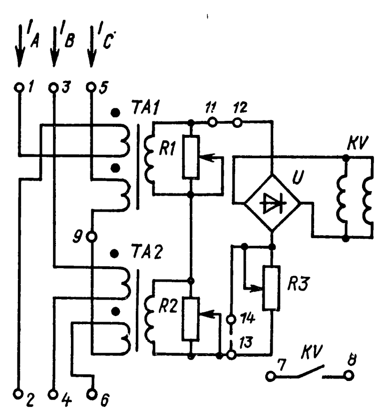


Рис. XVII.29. Принципиальная схема фильтра-реле тока обратной последовательности типа РТФ-1М.

Исполнительный орган проверяется в соответствии с рекомендациями по проверке и регулировке реле серии РН-50. Срабатывание реле на первой уставке должно происходить при токе около 0,011 А и на последней уставке — около 0,022 А.

Регулировка заданной уставки по току обратной последовательности производится при имитации двухфазного короткого замыкания между любыми фазами с измерением тока на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле, на котором предварительно установлена по шкале необходимая уставка и перемычками установлен нужный диапазон уставок. Фазный ток обратной последовательности при срабатывании реле определяется из выражения

$$I_{2ф.\,ср} = I_{ср}/\sqrt{3}\ [А].$$

По этой же схеме проверяется ток возврата реле ($k_в$ должен быть не

менее 0,75) и отсутствие вибрации контактов при подаче на вход фильтра токов от 1,05 $I_{ср}$ до $I_{к.\,з.\,макс}$.

Оценка поведения реле (отсутствие ложных срабатываний) при максимальном токе трехфазного короткого замыкания производится поочередной подачей в фазы AB, BC, AC тока $I_{к.\,з.\,макс}$ и измерением тока в исполнительном реле или напряжения на выходе фильтра. Наибольшая разность любых двух замеров тока или напряжения не должна превышать соответственно тока или напряжения срабатывания реле.

Заключительная проверка настройки фильтра и правильности включения фильтра-реле под нагрузкой осуществляется измерением значений и фаз токов трех фаз и измерением тока небаланса на выходе фильтра миллиамперметром с малым сопротивлением.

При подведении к фильтру-реле токов обратной последовательности, что достигается перекрещиванием любых двух фаз тока, измеряется ток в исполнительном реле. После восстановления цепей тока повторно измеряется ток небаланса фильтра. Ток небаланса на выходе фильтра не превышает 1 мА при токе прямой последовательности $1{,}5I_{ном}$.

Фильтр-реле напряжения типа РНФ-1М

Принципиальная схема фильтра-реле РНФ-1М приведена на рис. XVII.30. Фильтр-реле содержит активно-емкостный фильтр обратной последовательности и исполнительный орган (реле РН-50), включенный на выход фильтра.

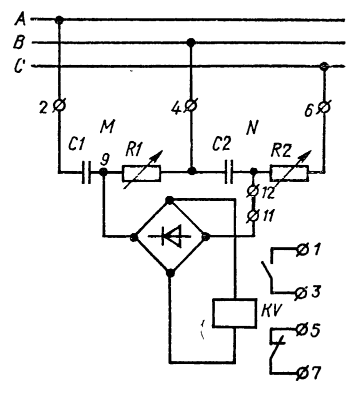


Рис. XVII.30. Принципиальная схема фильтра-реле напряжения обратной последовательности типа РНФ-1М.

Настройку фильтра проверяют имитацией двухфазных коротких замыканий различных фаз по схемам, приведенным на рис. XVII.31. Фильтр напряжения считается настроенным, если напряжение на выходе фильтра при имитации всех видов двухфазных коротких замыканий отличается от среднего значения не более чем на 2—3 %. Вместо измерения напряжения на выходе фильтра можно измерять напряжение на входе фильтра при срабатывании исполнительного реле. При больших отклонениях фильтр регулируют. Для этого при отсоединенной нагрузке по схеме, приведенной на рис. XVII.31,*в*, на вход фильтра подают напряжение 100 В.

Вольтметром с сопротивлением не менее 1000 Ом/В измеряют напряжение на всех элементах фильтра и на выходных зажимах. В каждом из плеч напряжения должны быть 86,5 и 50 В, т. е. отношение напряжений на элементах каждого плеча должно быть равно $\sqrt{3}$, а напряжения на выходе $\frac{\sqrt{3}}{2}U_{вх}$, т. е. 86,5 В. Изменением сопротивлений регулируемых резисторов добиваются указанного распределения напряжений с точностью до 1 %.

Исполнительный орган проверяется в соответствии с рекомендациями по проверке и регулировке реле серии РН-50.

Регулировка заданной уставки по напряжению обратной последовательности производится при имитации двухфазного короткого замыкания между любыми фазами. Изменяя напряжение на входе фильтра от нуля до срабатывания исполнительного реле, измеряют напряжение срабатывания реле $U_{ср}$. Напряжение срабатывания реле (линейное) обратной последовательности определяется как

$$U_{2\,лин} = \frac{U_{ср}}{\sqrt{3}}\ [В].$$

Уставки реле по линейному напряжению обратной последовательности регулируются от 6 до 12 В. Отклонение напряжения срабатывания от уставки по шкале — не более ± 8 %.

По этой же схеме проверяют коэффициент возврата, который должен быть не менее 0,75, и отсутствие вибрации контактов при подаче на вход фильтра напряжений от $1{,}05U_{ср}$ до 120—130 В.

Рис. XVII.31. Схемы имитации различных видов двухфазных коротких замыканий при настройке фильтра-реле типа РНФ-1М.

Проверка правильности включения фильтра-реле под рабочим напряжением осуществляется измерением значений и чередования фаз напряжений, подводимых к фильтру. Точность настройки фильтра определяется измерением напряжения небаланса на выходе фильтра вольтметром с малым потреблением. Напряжение небаланса при номинальном напряжении прямой последовательности не должно превышать 1 В. (Повышенные напряжения небаланса могут быть вызваны не только неточной настройкой фильтра, но и высшими гармониками в кривой подводимого напряжения, несимметрией подводимых напряжений, различной частотой сети при проверке рабочим напряжением и при проверке настройки фильтра.)

При подведении к фильтру напряжений обратной последовательности фаз, что достигается перекрещиванием на входе фильтра любых двух фаз напряжения, на выходе ненагруженного фильтра напряжение, измеренное вольтметром с малым потреблением, должно быть равно $1{,}5U_{2\,лин}$, т. е. 150 В при 100 В на входе.

После восстановления цепей напряжения вторично измеряется напряжение небаланса на выходе фильтра.

Реле направления мощности обратной последовательности

Принципиальная схема реле мощности типа РМОП-2 приведена на рис. XVII.32. Реле состоит из промежуточных трансформаторов тока *ТА1* и *ТА2*, активно-емкостного фильтра тока обратной последовательности (ФТОП), активно-емкостного фильтра напряжения обратной последовательности (ФНОП), индукционного элемента направления мощности *KW* и пускового реле *КА* (РТ-40).

Таблица XVII.18. **Токи срабатывания пускового органа реле типа**

Отпайка вторичной обмотки промежуточного трансформатора тока	Токи срабатывания,			
	1	2	3	4
5—8	3,7—4	4,1—4,5	4,6—4,9	5,0—5,4
5—7	2,6—2,8	3,0—3,2	3,3—3,5	3,6—3,85
5—6	1,6—1,8	1,9—2,05	2,05—2,2	2,25—2,4
5—8	0,75—0,81	0,84—0,9	0,91—0,99	1,0—1,08
5—7	0,52—0,56	0,6—0,64	0,66—0,7	0,71—0,77
5—6	0,33—0,35	0,38—0,42	0,41—0,44	0,44—0,48

Настройка фильтра ФНОП производится аналогично настройке фильтра-реле РНФ-1М. Настройка фильтра ФТОП производится также по методике настройки фильтра напряжения обратной последовательности. Перед проверкой фильтр отсоединяется от вторичных обмоток трансформаторов тока и нагрузки. Напряжение 100 В подается на выводы *12* и *14*, *16*.

Пусковой орган реле проверяется в соответствии с рекомендациями по проверке и регулировке реле серии РТ-40. Значения тока срабатывания реле (при подаче на зажимы *21—29*) должны соответствовать данным табл. XVII.18. Коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,8. Проверяется отсутствие вибрации контактов в диапазоне токов от $I_{ср}$ до $I_{к.\ з.\ макс}$.

Регулировка органа направления мощности производится в соответствии с методикой проверки реле направления мощности серии РБМ-170.

Рис. XVII.32. Принципиальная схема реле мощности типа РМОП-2.

Самоход от тока проверяется при полностью отпущенной возвратной пружине при имитации двухфазного короткого замыкания на любых фазах при закороченных цепях напряжения кратковременной подачей токов от номинального до максимального тока короткого замыкания. Самоход устраняется поворотом стального сердечника, имеющего срез по длине. Если не удается полностью устранить самоход во всем диапазоне токов, то разрешается оставлять самоход, который устраняется затяжкой возвратной пружины на угол не более 30°. Самоход от напряжения проверяется при полностью отпущенной возвратной пружине при имитации двухфазного короткого замыкания на любых фазах при разомкнутых цепях тока кратковременной подачей напряжения от 30 до 100 В. Самоход устраняется также поворотом стального сердечника (при этом находится такое положение, при котором самоход от тока

А, при уставках				Примечание
5	6	7	8	
5,4—5,8 3,9—4,25 2,4—2,6	5,8—6,3 4,15—4,5 2,6—2,8	6,2—6,7 4,5—4,8 2,8—3,0	6,6—7,2 4,7—5,1 2,9—3,0	Реле с номинальным током 5 А
1,08—1,16 0,78—0,84 0,48—0,52	1,15—1,26 0,83—0,9 0,52—0,56	1,24—1,35 0,89—0,96 0,56—0,60	1,32—1,44 0,94—1,02 0,58—0,63	Реле с номинальным током 1 А

и напряжения устраняется полностью) или затяжкой возвратной пружины на угол не более 30°.

После устранения самоходов проверяется зона работы реле и определяется угол максимальной чувствительности при поочередной имитации однофазных коротких замыканий на фазах *А*, *В*, *С* при отпущенной возвратной пружине и номинальных значениях тока и напряжения (рис. XVII.33). Зона работы реле должна находиться в пределах 160—180—340°, угол максимальной чувствительности $\varphi_{м.ч2} = -110 \pm 10°$ (вектор фазного тока опережает вектор фазного напряжения). Углы максимальной чувствительности при трех видах однофазного короткого замыкания не должны отличаться друг от друга более чем на 5°. При совпадении полученной зоны работы реле с заводской маркировка однополярных зажимов считается правильной.

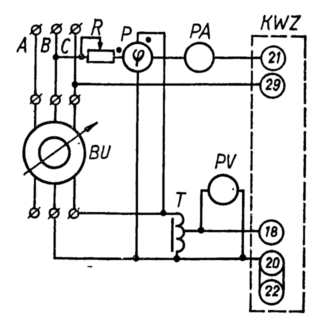


Рис. XVII.33. Схема для проверки реле типа РМОП-2.

Для оценки условий срабатывания реле при его проверке током нагрузки и рабочим напряжением имитацией двухфазного короткого замыкания на фазах *В*, *С* проверяется зона работы реле и определяется угол максимальной чувствительности по полным токам и напряжениям при имитации этого вида короткого замыкания. При имитации подаются номинальные значения тока и напряжения. Зона работы реле должна находиться в пределах 70—180—250°, угол максимальной чувствительности — в пределах 160 ± 10° (вектор тока отстает по фазе от вектора напряжения). При имитации двухфазного короткого замыкания на фазах *В*—*С* проверяется чувствительность реле при нормальной затяжке возвратной пружины. К реле подводится ток, равный $0{,}346 I_{ном}$ и при угле максимальной чувствительности измеряется напряжение срабатывания реле $U_{ср}$. Мощность обратной последовательности при срабатывании реле определяется по формуле

$$P_{2ср} = 0{,}192 U_{ср} I_р$$

и не должна превышать значений, приведенных в табл. XVII.19. Регулировка мощности срабатывания производится изменением угла затяжки возвратной пружины (оставлять угол затяжки менее 90° не рекомендуется). Коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,95.

Производится проверка работы контактов реле и поведения реле при подаче и сбросе обратной мощности. Проверка производится при имитации двухфазного короткого замыкания на фазах *В—С*, угле максимальной чувствительности и нагрузке на контакты, соответствующей схеме защиты. Мощность, подводимая к реле, изменяется от 1,2 $P_{ср}$ до максимально возможной при коротких замыканиях в зоне защиты и вне ее.

Таблица XVII. 19. **Минимальная мощность срабатывания органа направления мощности реле типа РМОП-2**

Отпайка вторичной обмотки промежуточного трансформатора тока	Мощность срабатывания обратной последовательности на фазу, В · А, не более, при $I_{ном}$ реле, А	
	1	5
5—6	0,6	3
5—7	1,1	5,5
5—8	1,6	8

Примечание. Мощности приведены при токе в реле, равном 0,346 $I_{ном}$.

Проверка реле РМОП-2 рабочим током и напряжением

Ниже приводится пример проверки правильности включения реле типа РМОП-2 методом имитации двухфазного короткого замыкания на фазах *В—С*. На зажимах цепей напряжения панели защиты отсоединяются испытательные зажимы фазы *С* и нулевого провода, а на реле соединяются фазы *В* и *С*. При этом на входе реле РМОП линейное напряжение между фазами *В* и *С* становится равным нулю; в фазу *В* реле РМОП поочередно подают токи фаз *А*, *В* и *С*. Фаза тока *С* реле РМОП постоянно соединена с нулевым проводом трансформаторов тока (рис. XVII.34).

На снятую векторную диаграмму токов и напряжений наносятся зона работы реле, определяемая на основании рис. XVII.35, и схемы

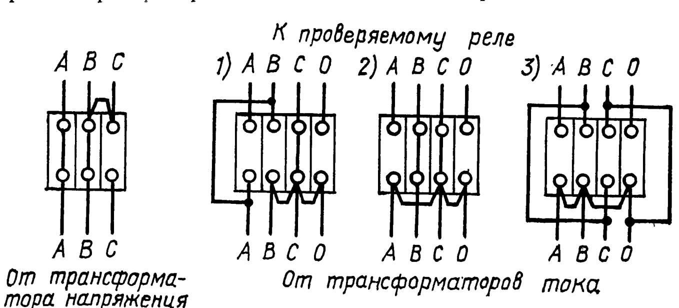


Рис. XVII.34. Схемы подключения цепей тока и напряжения при проверке правильности включения реле типа РМОП-2 током нагрузки методом имитации двухфазного короткого замыкания между фазами *В* и *С*:

1 — в фазы *В—С* реле подан ток фазы *А*; *2* — то же, ток фазы *В*; *3* — то же, ток фазы *С*.

включения трансформаторов тока и напряжения и анализа направления активной и реактивной мощностей присоединения, на котором установлена защита (рис. XVII.36). При всех трех случаях подачи на реле различных по фазе токов отмечается положение контактов реле мощности и сравнивается с совмещенной векторной диаграммой. При соответствии положения контактов совмещенной векторной диаграмме реле мощности включено правильно.

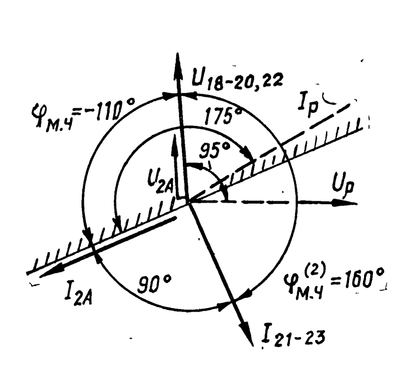


Рис. XVII.35. Полная зона работы реле типа РМОП-2 по полным значениям тока и напряжения при двухфазном коротком замыкании между фазами B и C.

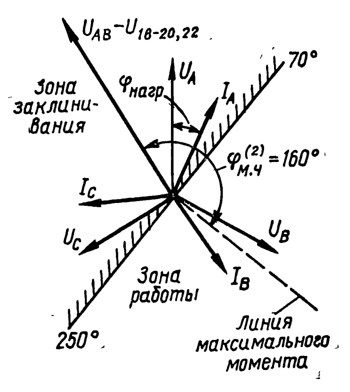


Рис. XVII.36. Пример векторной диаграммы токов и напряжений при проверке правильности включения реле типа РМОП-2 методом имитации двухфазного короткого замыкания между фазами B и C.

Защиты от однофазных замыканий на землю в сети с малым током замыкания на землю

Токовая защита нулевой последовательности

Защита выполняется на токовых реле серий РТ-40 и РТЗ-50, которые включаются на трансформаторы тока нулевой последовательности (ТТНП) типов ТЗЛ, ТЗР или ТФ.

Уставка защиты выбирается по условиям отстройки от емкостного тока защищаемого присоединения при замыкании на землю на других присоединениях

$$I_{\text{с.з}} \geqslant k_{\text{з}} k_{\text{б}} 3 U_{\text{ф}} \omega C_{\text{п}},$$

где $I_{\text{с.з}}$ — ток срабатывания защиты, А; $k_{\text{з}}$ — коэффициент запаса, равный 1,1—1,2; $k_{\text{б}}$ — коэффициент, учитывающий бросок емкостного тока, равный 4—5, при выполнении защиты с выдержкой времени $k_{\text{б}}$ равен 2—3; $U_{\text{ф}}$ — номинальное фазное напряжение сети, кВ; $C_{\text{п}}$ — емкость фазы присоединения, на котором установлена защита, Ф.

Чувствительность защиты определяется из выражения

$$k_{ч} = \frac{I_{C_{\Sigma}} - I_{C_{п}}}{I_{с. з}},$$

где $k_{ч}$ — коэффициент чувствительности; $I_{C_{\Sigma}}$ — полный ток замыкания на землю, А; $I_{C_{п}}$ — емкостный ток присоединения, на котором установлена защита, А, $I_{C_{п}} = 3U_{ф}\omega C_{п}$.

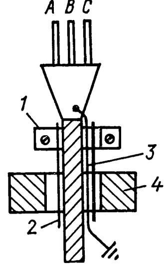


Рис. XVII.37. Выполнение заземления при установке на кабеле трансформатора тока нулевой последовательности:

1 — крепежная скоба; *2* — изоляционная лента; *3* — заземляющий провод; *4* — ТТНП.

Коэффициент чувствительности должен быть не менее 1,25 для кабельных линий и не менее 1,5 для воздушных линий.

Наладка токовой защиты нулевой последовательности выполняется в следующем объеме.

1. Проверка правильности монтажа ТТНП. Провод, заземляющий кабельную воронку, должен проходить через ТТНП и на выходе присоединяться к контуру заземления (для компенсации тока, проходящего через ТТНП по броне кабеля). На кабель на участке от воронки до места установки ТТНП и на заземляющий провод должна быть наложена изоляционная лента для изоляции железа ТТНП от брони кабеля и брони и воронки от хомутов или скоб, крепящих кабель к заземленным конструкциям (рис. XVII.37). Изоляция сердечника ТТНП и крепежных скоб и хомутов проверяется мегомметром на напряжение 2500 В. Проверка исправности изоляции концевых воронок и брони кабеля на участке до места установки ТТНП осуществляется подачей переменного тока в рассечку отсоединенного от контура заземления провода, заземляющего кабельную воронку. При этом измеряется ток небаланса во вторичной обмотке ТТНП, который при протекании расчетного тока замыкания на землю должен быть в 2—3 раза меньше тока срабатывания реле.

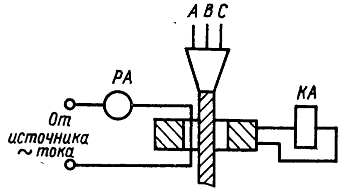


Рис. XVII.38. Схема проверки реле тока при его совместной работе с ТТНП.

2. Снятие характеристики намагничивания ТТНП $U = f(I_{намагн})$.

3. Проверка реле РТ-40, выполняемая по методике проверки реле этой серии. Ввиду малой мощности ТТНП электрические характеристики реле снимаются по схеме, приведенной на рис. XVII.38.

Реле типа РТЗ-50. Принципиальная схема реле приведена на рис. XVII.39. Реле отличается малой потребляемой мощностью в цепи ТТНП, обусловленной применением двухкаскадного усилителя постоянного тока на транзисторах с положительной обратной связью. Реле состоит из входного насыщающегося трансформатора тока *TA* с разрядником *FV* и резистором *R2*; выпрямительного устройства (*U1, R3, C1, R4, VD5*); усилителя постоянного тока (*R5—R11, C2,*

C4, *VD6*, *VD7*, *VD1*, *VT1*, *VT2*); исполнительного органа *К*; устройства питания (*U2*, *R12—R14*, *C3*, *VD2*, *VD3*).

Реле имеет 3 диапазона плавно регулируемых уставок тока срабатывания: 0,01—0,02 А; 0,015—0,03 А; 0,03—0,06 А. Переключение диапазонов осуществляется перестановкой накладки, размещенной на передней плате реле. Погрешность тока срабатывания в нормальных условиях не превышает ± 10 % по отношению к уставке, разброс тока срабатывания не превышает 4 %. Коэффициент возврата реле не ниже 0,9. Мощность, потребляемая реле при токе срабатывания на минимальной уставке каждого из диапазонов, не превышает 0,012 В · А. Реле длительно выдерживает 110 % $U_{ном}$ в цепи питания и 0,11 А в цепи тока.

При изменении напряжения питания на +10 или —20 % отклонение тока срабатывания от значения, измеренного при номинальном напряжении, не превышает ± 8 %.

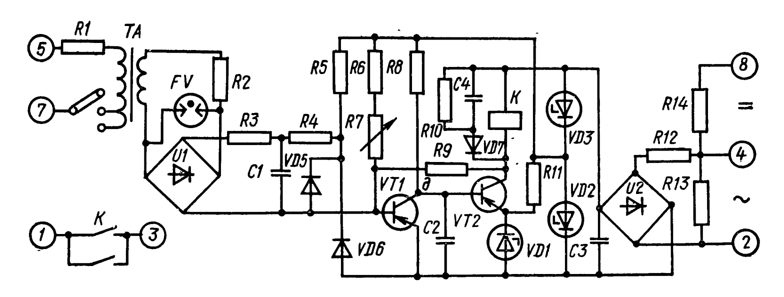


Рис. XVII.39. Принципиальная схема реле типа РТЗ-50.

Проверка электрических параметров реле производится в такой последовательности.

1. Проверка реле РП-222 производится в соответствии с методикой проверки промежуточных реле этого типа. Ток срабатывания реле должен находиться в пределах 7,9—8,7 мА, коэффициент возврата — не менее 0,2.

2. При номинальном напряжении питания проверяются токи срабатывания реле в каждом диапазоне уставок и коэффициент возврата реле. Корректировка уставок производится потенциометром *R7*.

3. На крайних уставках проверяется ток срабатывания при напряжении питания 80 % $U_{ном}$. Выходное реле должно срабатывать четко, без задержки.

При определении причин неисправности или ненадежной работы реле следует руководствоваться следующим. Напряжения в начальном состоянии реле должны быть 0,01—0,04 В на коллекторе *VT1*; 16—19 В на коллекторе *VT2*; 0,6—0,7 В на стабилитроне *VD1*; 16—19 В на конденсаторе *C3*; в конечном состоянии реле напряжения на этих элементах должны быть соответственно равны: 0,9—1,2; 0,7—1,0; 0,6—0,7; 16—19 В. Ток утечки у конденсатора *C2* должен быть не более 27 мкА при напряжении 12 В, у конденсатора *C3* — не более 125 мкА при напряжении 25 В. ЭДС на вторичной обмотке *TA* при прохождении по первичной обмотке тока максимальной уставки каждого диапазона должна находиться в пределах 5,0—5,8 В. Измерение напряжений следует производить при номинальном напряжении питания вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 20 кОм/В.

В настоящее время взамен реле типа РТЗ-50 разработано реле тока типа РТЗ-51. Пределы регулирования тока срабатывания реле 0,02—0,12 А, коэффициент возврата 0,93, средняя основная погрешность реле 10 %, разброс тока срабатывания на любой уставке 3 %.

Направленная защита нулевой последовательности с реле типа ЗЗП-1

Защита используется в сетях напряжением 1—10 кВ с изолированной нейтралью и суммарными емкостными токами 0,2—20 А. Принципиальная схема защиты приведена на рис. XVII.40. Реле состоит из согласующего устройства (*T1*, *R6*, *R7*, *R11*, *VD1*, *VD2*, *FV*), обеспечивающего стабильный сдвиг фазы выходного тока на угол 90° относительно первичного тока, независимый от степени насыщения ТТНП, и термическую устойчивость реле при двойных замыканиях на землю; двухкаскадного усилителя переменного тока (*R1*—*R4*, *R10*, *VD5*, *C1*, *C4*, *VT1*, *VT2*), усиливающего сигнал, поступающий от согласующего устройства, сохраняя неизменной фазу тока $3I_0$; фазочувствительного усилителя (*R5*, *R8*, *R9*, *R12*, *R13*, *C3*, *T2*, *VD3*, *VD4*, *VT3*, *VT4*), на выход которого включено выходное реле типа РП-220 со специальными обмоточными данными. Фазочувствительное устройство сравнивает фазы $3I_0$ и $3U_0$ и обеспечивает работу реле в зоне порядка 180°.

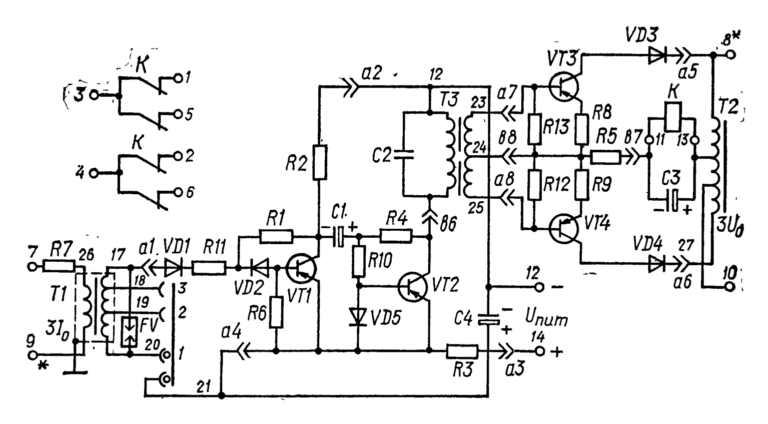


Рис. XVII.40. Принципиальная схема реле типа ЗЗП-1.

Токовая цепь реле включается на ТТНП типа ТЗЛ, ТЗР, ТФ и др., цепь напряжения реле включается на фильтр напряжения нулевой последовательности (обмотки трансформатора напряжения, соединенные в разомкнутый треугольник). Номинальное напряжение питания цепей постоянного тока 24 В. Для питания цепей постоянного тока может использоваться блок питания БПН-11 с $U_{пит} = 26$ В. При отборе напряжения от аккумуляторной батареи с помощью делителя плечо делителя в цепи 24 В должно быть не более 500/*n* Ом, где *n* — количество реле ЗЗП-1.

Номинальное напряжение цепи напряжения $3U_0$ 100 В. Для защиты полупроводниковых приборов при переходных процессах в цепях напряжения устанавливают контур *LC* типа ВУ1.

Напряжение срабатывания реле при двукратном токе срабатывания, номинальном напряжении питания и $3I_0$, отстающем от $3U_0$ на 90°, находится в пределах 20—40 В. Реле не срабатывает при $3U_0 = 50$ В, $3I_0 = 0$ и $U_{пит} = 0{,}65U_{ном}$. Ток срабатывания защиты при температуре +20 °С, при $3U_0 = 100$ В и $U_{пит} = 24$ В составляет 0,07 ± 30 % на уставке 1; 0,5 А ± 30 % на уставке 2; 2,0 А ± 30 % на уставке 3 (токи срабатывания даны при работе ЗЗП-1 с ТТНП типа ТЗЛ).

Зона срабатывания защиты при номинальных напряжениях и токе более 0,2 А на уставке 1, а на уставках 2 и 3 при двукратном токе срабатывания находится в пределах 180 ± 20°. Угол максимальной чувствительности при тех же условиях находится в пределах 80—130° на уставке 1 и 70—110° на уставках 2 и 3.

Устройство длительно выдерживает ток $3I_0 = 20$ А или напряжение $3U_0 = 100$ В при напряжении питания $1{,}2U_{ном}$.

Проверка защиты производится в такой последовательности.

1. Внешний осмотр и проверка механической исправности устройства.

2. Проверка правильности монтажа ТТНП (см. выше).

3. Снятие характеристики намагничивания ТТНП.

4. Измерение сопротивления изоляции. При измерении вынимается съемный блок с полупроводниковыми приборами, шунтируются конденсаторы *С2* и *С3*, отсоединяются провода от реле ЗЗП-1. Проверяется изоляция всех цепей друг от друга и по отношению к корпусу. Сопротивление изоляции должно быть не менее 10 МОм.

5. Проверка цепи питания. Напряжение питания должно быть порядка 24 В; к зажиму *12* должен быть подведен минус, к зажиму *14* — плюс.

6. Проверка выходного реле РП-220 производится по методике проверки промежуточных реле. Напряжение срабатывания должно быть в пределах 16—17,6 В, коэффициент возврата не менее 0,2.

7. Снятие основных характеристик защиты производится по схеме, приведенной на рис. XVII.41. Схема обеспечивает при проверке необходимый угол сдвига фаз между напряжением $3U_0$ и током $3I_0$, равный 90°.

Рис. XVII.41. Схема для снятия характеристик реле типа ЗЗП-1.

Перед проверкой устраняется остаточное намагничивание сердечника ТТНП трехкратным плавным увеличением тока, пропускаемого через ТТНП, до 9—10 А и плавным снижением его до нуля.

Проверка тока срабатывания устройства производится при напряжении $3U_0 = 100$ В и номинальном напряжении питания плавным увеличением тока в первичной обмотке ТТНП. Поскольку на заводе устройства регулируются с ТТНП типа ТЗЛ, то при использовании ТТНП других типов токи срабатывания могут несколько отличаться от приведенных выше значений.

Проверка напряжения срабатывания устройства производится при двукратном токе срабатывания и номинальном напряжении питания плавным увеличением напряжения на зажимах *8—10* реле. Напряжение срабатывания должно находиться в пределах 20—40 В.

Проверка зоны срабатывания и угла максимальной чувствительности производится при питании цепи $3U_0$ через фазорегулятор при

токе не менее 0,2 А на уставке 1 и не менее двукратного тока срабатывания на уставках 2 и 3. Зона срабатывания и угол максимальной чувствительности, определяемый как средний угол зоны срабатывания, должны находиться в указанных выше пределах.

При определении причин неисправности или ненадежной работы реле надо руководствоваться следующими данными. ЭДС на полностью включенной вторичной обмотке *T1* при первичном токе 20 мА должна быть в пределах 0,8—1,1 В, при первичном токе 80 мА — 5,5—8,0 В. Ток холостого хода трансформатора *T2* должен быть не более 18 мА, ЭДС на вторичных полуобмотках при номинальном напряжении на первичной обмотке должны находиться в пределах 57—65 В и различаться не более чем на 5 В. При токе, протекающем через первичную обмотку *T3*, равном 3 мА, падение напряжения на ней должно быть в пределах 12,4—15,2 В; ЭДС на вторичных полуобмотках должны находиться в пределах 0,73—0,81 В и различаться не более чем на 0,03 В. Все напряжения должны измеряться вольтметром с внутренним сопротивлением 0,5—1 МОм. Ток утечки конденсатора *C1* при напряжении 10 В не должен превышать 33 мкА (измерение производится через 1 мин после подачи напряжения на конденсатор).

Проверку правильности включения реле ЗЗП-1 рекомендуется выполнять следующим образом.

Со стороны высокого напряжения вынимается предохранитель одной из фаз, и первичная обмотка этой фазы закорачивается. Снимается векторная диаграмма, по которой определяется положение вектора $3U_0$ на вторичной обмотке трансформатора напряжения, соединенной в разомкнутый треугольник, относительно линейного напряжения неотключенных фаз ТН. Далее зажимы *8—10* реле отсоединяются от цепей напряжения и на них подается от постороннего источника напряжение 100 В, совпадающее по фазе с определенным, как указано выше, вектором напряжения $3U_0$. Через испытательную жилу, используемую в качестве первичной обмотки ТТНП, пропускается ток не менее $2I_{с.з}$, опережающий на 90° вектор напряжения $3U_0$, в направлении от шин в линию. Реле должно надежно сработать. В противном случае необходимо переключить провода, идущие к зажимам *7—9* реле.

Уставка на реле ЗЗП-1 выбирается из условия обеспечения коэффициента чувствительности, равного 2:

$$I_{с.з} = \frac{I_{C_\Sigma} - I_{C_п}}{2}.$$

Защита от замыканий на землю с реле УСЗ2/2

Принципиальная схема реле приведена на рис. XVII.42. Принцип действия реле основан на выделении составляющих высших гармоник, содержание которых в токе нулевой последовательности поврежденного присоединения существенно выше, чем на неповрежденных присоединениях независимо от режима компенсации. Значения отдельных гармонических составляющих зависят от режима сети, а также от места повреждения. Для селективной работы реле используется спектр высших гармоник от 0,1 до 2 кГц.

Реле состоит из согласующего трансформатора, измерительного органа, логической части и выходного устройства. Согласующий трансформатор *T* предназначен для согласования входного сопротивления устройства с выходным сопротивлением ТТНП. Измерительный орган

(L; $C1$; $C3$; $U3$; $R1$; $R1{,}2$; $R1{,}3$; $R1{,}4$) предназначен для выделения составляющих высших гармоник в токе нулевой последовательности. Набор резисторов $R1$—$R1, 3$ и штекер XP служат для изменения уставки реле в зависимости от суммарного емкостного тока сети и емкостного тока защищаемого присоединения. Логическая часть ($VT1$, $R2$, $R2'$, $R3$, $C2$, $VD1$) пропускает или не пропускает в выходное устройство сигнал от измерительного органа в зависимости от длительности и значения сигнала. Выходное устройство состоит из триода $VT2$, выходного реле K, тиратрона с холодным катодом VL, диода $VD2$ и резисторов $R4$—$R8$.

Устройство рассчитано для работы с ТТНП типов ТЗ, ТЗР, ТЗЛ и других.

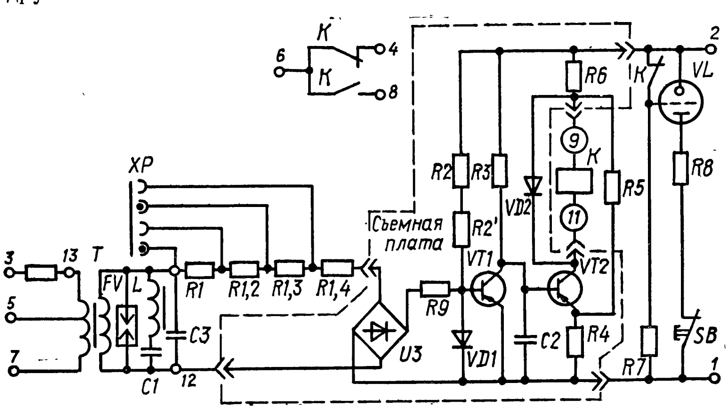


Рис. XVII.42. Принципиальная схема реле типа УСЗ2/2.

Значения токов срабатывания в зависимости от частоты при напряжении питания, равном 110 В, сопротивлении соединительных проводов между ТТНП и реле, не превышающем 1 Ом, и при температуре окружающей среды + 20 °С с допускаемыми отклонениями ± 30 % приведены в табл. XVII.20 (пределы отклонения ± 30 % действительны для диапазона частот 150—650 Гц).

Сопротивление соединительных проводов между ТТНП и реле должно быть не более 1,5 Ом. Если сопротивление проводов больше 0,5 Ом, то ток от ТТНП подается на зажимы 7—13 реле; если сопротив-

Таблица XVII.20. **Значения первичного тока $3I_0$ срабатывания устройства типа УСЗ2/2**

Уставка, А	Первичный ток срабатывания, А, при частоте, Гц						
	50	150	250	350	550	650	2000
25	⩾5,0	1,74	0,95	0,61	0,48	0,57	⩾2,0
50	⩾10	2,8	1,4	0,85	0,73	0,98	⩾3,2
100	⩾20	5,1	2,5	1,35	1,47	2,05	⩾6,5
250	⩾50	10,4	4,85	2,44	3,4	4,95	⩾16

ление проводов меньше 0,5 Ом, ток от ТТНП подается на зажимы *3—7* реле.

Номинальное напряжение цепей питания 110 В. Допустимые отклонения напряжения ± 20 %. При таких отклонениях изменение тока срабатывания реле не выходит за пределы ± 25 % относительно значений тока срабатывания, измеренных при номинальном напряжении питания на частотах 150—650 Гц. Потребление мощности от ТТНП в режиме срабатывания не более $3 \cdot 10^{-3}$ В · А. Коэффициент возврата выходного реле РП не менее 0,2. Реле термически устойчиво при напряжении питания 110 В при токе 42 А в течение 1 с или 30 А в течение 2 с, а также при длительном первичном токе ТТНП $3I_0 = 30$ А.

Наладка реле при новом включении выполняется в следующем объеме.

1. Внешний и внутренний осмотр и проверка механической части реле.

2. Проверка трансформатора тока ТТНП (производится в изложенном выше объеме).

3. Измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением изоляции цепей. При измерении сопротивления изоляции съемные панельки, на которых выполнен монтаж полупроводниковых приборов, вынимаются. Сопротивление изоляции, измеренное мегомметром 1000 В, должно быть не ниже 10—15 МОм.

4. Проверка выходного реле устройства. Проверка производится по методике проверки промежуточных реле серии РП-220. Проверка напряжения срабатывания и возврата выходного реле производится при вынутой съемной панельке подачей напряжения на выводы *9—11* реле. Напряжение срабатывания не должно быть выше 16—17 В, напряжение возврата не ниже 1,5 В.

5. Проверка цепей сигнализации реле. Для проверки исправности сигнального тиратрона МТХ-90 на выводы *1—2* реле при вынутой съемной панельке подается напряжение постоянного (выпрямленного) тока, равное $0{,}8U_{ном}$. При нажатии на якорь выходного реле тиратрон должен загореться и продолжать гореть после отпускания реле до квитирования кнопкой. Далее напряжение питания увеличивается до $1{,}5\ U_{ном}$ и проверяется отсутствие зажигания тиратрона.

6. Проверка основных электрических характеристик реле. При вставленной панельке и поданном на выводы *1—2* реле напряжении питания $U_{ном} \pm 20$ % измеряется напряжение на выводах *9—11* реле, характеризующее значение обратного тока коллектора $I_{к.о}$ триода *VT2*. Напряжение должно быть не более 1 В. Снимается характеристика зависимости тока срабатывания реле от частоты тока при постоянном напряжении питания для различных уставок реле при частотах 50, 250, 350, 550 и 2000 Гц (рис. XVII.43). Момент срабатывания реле фиксируется по зажиганию тиратрона. При этом целесообразно измерить напряжение на выводах *10—12* реле в момент его срабатывания. Из-за незначительной мощности генератора звуковой частоты следует намотать через окно ТТНП 20—50 первичных витков. Первичный ток, приведенный к одному витку, определяется как произведение показаний амперметра на число намотанных витков. Полученные токи срабатывания при $U'_{пит} = U_{ном}$ должны соответствовать данным табл. XVII.20 с учетом допускаемых отклонений.

7. Проверка устройства первичным током от постороннего источника. К устройству УСЗ2/2 подсоединяются все цепи, на переключателе уставок выполняется рабочая уставка, подается на устройство напряжение питания. Через испытательный провод, пропущенный через окно ТТНП, от постороннего источника подается ток частотой

50 Гц, плавно увеличиваемый до срабатывания выходного реле. Полученный ток срабатывания не должен отличаться от тока срабатывания, измеренного при снятии частотной характеристики, более чем на 10 %.

При выборе уставок устройства УСЗ2/2 рекомендуется руководствоваться следующим. Уставки устройства УСЗ2/2 рассчитаны таким образом, чтобы на всех неповрежденных присоединениях с собственным емкостным током I_C, равным 10 % суммарного тока всех присоединений I_{C_Σ}, и уставкой, равной $10I_C$, обеспечивался коэффициент отстройки $k_{отс} \geqslant 2$. Обозначение уставок 25, 50, 100 и 250 указывает при этом, какому I_{C_Σ} каждая из них соответствует. Из этого следует, что для присоединений, у которых отношение суммарного емкостного тока сети I_{C_Σ} к собственному емкостному току I_C составляет 10, расчетная

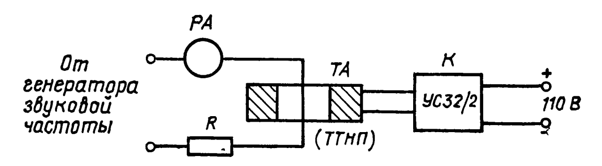


Рис. XVII.43. Схема для снятия характеристик реле УСЗ2/2.

уставка принимается равной $10I_C$ и выставляется на реле; для присоединений, у которых отношение $I_{C_\Sigma}/I_C > 10$, целесообразно расчетную уставку, равную $10I_C$, уменьшить, округлив ее до ближайшего меньшего значения уставки на реле; для присоединений, у которых отношение $I_{C_\Sigma}/I_C < 10$, целесообразно расчетную уставку, равную $10I_C$, увеличить, округлив ее до ближайшего бо́льшего значения уставки на реле.

Газовая защита

В настоящее время на отечественных трансформаторах устанавливаются в основном газовые реле типа РГЧЗ-66 (рис. XVII.44).

Реле типа РГЧЗ-66 имеет две открытые плоскодонные чашки с установленными внутри них подвижными контактами. При заполненном маслом корпусе газового реле обе чашки под действием спиральных пружин находятся в верхнем положении, и контакты реле разомкнуты. При понижении уровня масла в реле в результате утечки масла или его вытеснения газом, скапливающимся в верхней части корпуса реле, под действием веса оставшегося в чашках масла они опускаются, и подвижный контактный мостик замыкает неподвижные контакты. Первой опускается верхняя чашка сигнального элемента (при вытеснении примерно 400 см^3 масла), а затем чашка нижнего отключающего элемента (при полном уходе масла из реле). С нижней чашкой отключающего элемента связана сменная пластина, реагирующая на скорость потока масла в реле. Реле комплектуется тремя сменными пластинами разных размеров, рассчитанными на замыкание нижнего отключающего контакта при скоростях потока масла 0,6; 0,9 и 1,2 м/с (на пластинах нанесены цифры, указывающие скорость потока масла). Пластина с подвижным контактом может поворачиваться вокруг своей оси и при

неподвижной чашке. Ход обеих чашек ограничивается упорами. Оба элемента реле закрыты со стороны входного фланца реле цилиндрическими полуэкранами для защиты их от прямого потока масла и верхними экранами для уменьшения вероятности оседания на дно чашек шлака и других механических примесей.

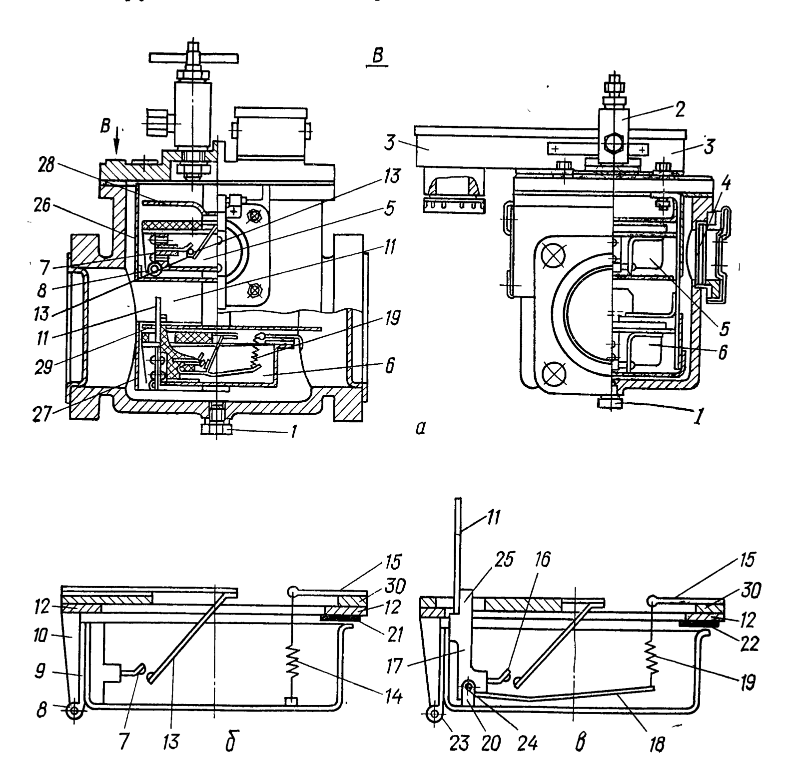


Рис. XVII.44. Газовое реле типа РГЧЗ-66:

а — общий вид; *б* — верхний элемент; *в* — нижний элемент; *1* — пробка; *2* — кран; *3* — коробка зажимов; *4* — смотровое стекло; *5* — сигнальный элемент; *6* — отключающий элемент; *7* — подвижный контакт сигнального элемента; *8* — ось чашки сигнального элемента; *9* — держатель чашки; *10* — стойка; *11* — сменная скоростная пластина; *12* — сборочное кольцо; *13* — неподвижный контакт; *14*, *19* — спиральные пружины; *15* — держатель пружины; *16* — подвижный контакт отключающего элемента; *17* — изоляционная стойка; *18* — рычаг; *20* — скобообразная стойка; *21*, *22* — упорные пластины; *23* — ось чашки отключающего элемента; *24* — ось стойки пластины; *25* — выступ стойки пластины; *26*, *27* — полуэкраны; *28*, *29* — экраны; *30* — прокладка.

На крышке корпуса реле установлены кран для отбора пробы газа и выпуска его из реле и коробка зажимов реле (в дне коробки имеется отверстие для стока собирающейся в ней влаги). На крышке реле нанесена стрелка, указывающая направление движения масла (от трансформатора к расширителю). В дне корпуса реле имеется пробка с резьбой для спуска влаги и грязного масла, скопившихся в нижней части реле.

Для обеспечения правильной работы газовой защиты должны быть выполнены определенные требования при монтаже трансформатора и установке газового реле. Подъем крышки трансформатора по направлению к газовому реле должен быть 1—1,5 %, а маслопровода от трансформатора к расширителю — 2—4 %, при этом маслопровод врезается в наивысшей точке крышки трансформатора.

Реле РГЧЗ-66 предназначено для установки в трубопроводах диаметром 80 мм (этим обеспечивается работа газового реле на отключение при аварийном снижении уровня масла). Уплотняющие резиновые прокладки не должны создавать сужения трубопровода в местах присоединения газового реле. Толщина прокладки между крышкой и корпусом реле для нормальной его работы не должна превышать 2—3 мм. Стрелка на крышке реле должна указывать в сторону расширителя. Выхлопная труба трансформатора должна выступать внизу под крышкой трансформатора. В верхней части выхлопная труба должна иметь отверстие во внешнюю среду или трубку, сообщающуюся с воздушным пространством в верхней части расширителя для уравновешивания давления.

Подключение газового реле должно выполняться кабелями с маслостойкой (желательно пластмассовой) изоляцией жил.

Газовое реле должно быть доступно для осмотра, определения уровня масла через смотровое стекло и для снятия проб газа и масла без отключения трансформатора.

Наладка газовой защиты силовых трансформаторов при приемосдаточных испытаниях выполняется в следующем объеме.

1. Проверка правильности выполненного монтажа. Проверяется соблюдение рассмотренных выше требований к установке газового реле.

2. Внешний и внутренний осмотр реле. При внешнем осмотре проверяется целость корпуса реле, смотровых стекол, проходных изоляторов, отсутствие течи через проходные изоляторы, в месте крепления крана на крышке реле, в нижней части корпуса реле из пробки. При осмотре выемной части реле проверяется надежность крепления всех элементов: чашек, пластины (скоростного элемента), упоров, ограничивающих ход чашек, экранов, контактных пластин, токопроводов и их крепления к выводам и контактам, пластин, предотвращающих выработку краев чашек при вибрации реле, надежность заделки концов спиральной пружины в держателях, наличие пружинящих шайб на всех винтовых креплениях. Оси чашек должны быть надежно запрессованы в стойку, при этом не должно быть перемещения чашки со стойкой вдоль оси, продольные люфты осей не должны превышать 0,5 мм, а поперечные люфты практически должны отсутствовать. Все движущиеся части реле должны легко, без заедания, перемещаться от руки и легко возвращаться в исходное положение. При проверке замыкания контактов реле от действия пластины отключающего элемента чашка придерживается рукой в верхнем положении, а затем вручную проверяется свободный ход пластины в обе стороны и надежность замыкания и размыкания контактов. Причиной недостаточного хода пластины может быть слишком малый зазор между рычагами и дном чашки; в этом случае следует рычаг несколько выгнуть вверх. При нажатии рукой на чашку отключающего элемента вместе с чашкой отклоняется пластина. Легкость движения чашки сигнального элемента и надежность замыкания и размыкания сигнальных контактов также проверяется нажатием на нее рукой в обе стороны. При проверке обоих элементов реле проверяется также правильность регулировки контактов: пластины неподвижных контактов должны располагаться в одной плоскости, расстояние между подвижными и неподвижными контактами должно состав-

лять 2—2,5 мм, совместный ход контактов — 2 мм; подвижные контакты должны скользить по середине пластин неподвижных контактов, не доходя до их краев во избежание заскакивания.

3. Проверка чувствительности нижнего элемента реле. Выемная часть реле с крышкой устанавливается на горизонтальной плоскости. Нижняя чашка реле заполняется трансформаторным маслом и с помощью пружинного граммометра, конец которого подводится под дно чашки со стороны спиральной пружинки, поднимается до полного размыкания отключающих контактов. При этом усилие по шкале граммометра должно находиться в пределах 25—30 г (0,25—0,29 Н).

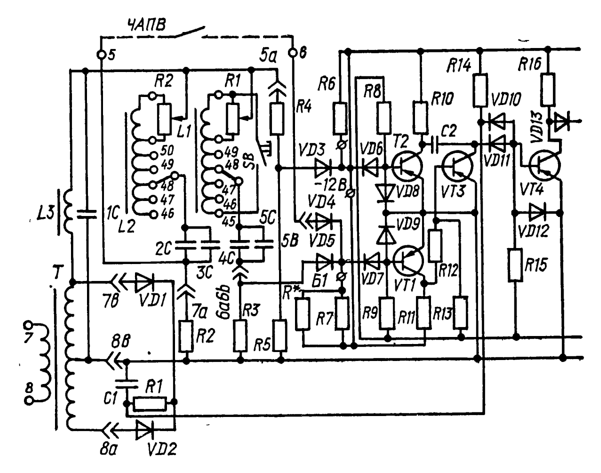
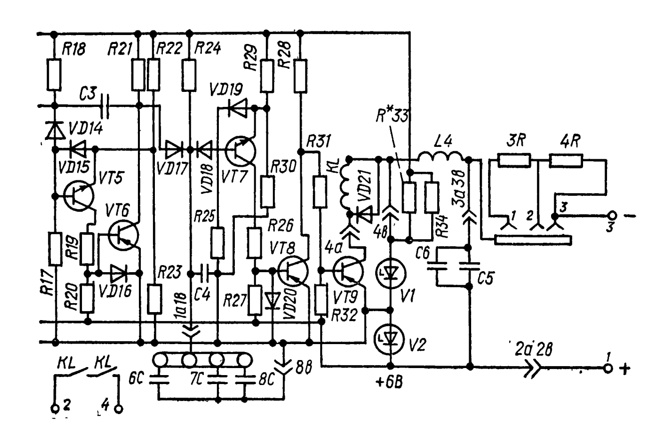


Рис. XVII.45. Принципиальная схема реле типа РЧ-1.

4. Проверка и регулировка срабатывания реле по скорости потока масла. Производится на специальной установке, позволяющей регулировать и измерять скорость потока масла. В практике пусконаладочных и эксплуатационных организаций применяются установки различных конструкций. Эти установки описаны в литературе и здесь не рассматриваются. На этих же установках измеряется время срабатывания отключающего элемента, которое для реле РГЧЗ-66 при скорости потока масла, равной 1,25 скорости срабатывания, не должно превышать 0,2 с. Уставки отключающего элемента по скорости потока масла зависят от мощности трансформатора и системы охлаждения и принимаются равными 0,6 м/с для трансформаторов мощностью до 40 МВ · А, 0,9 м/с для трансформаторов мощностью свыше 40 МВ · А и 1,2 м/с для трансформаторов с принудительной циркуляцией масла независимо от их мощности. После проверки срабатывания реле по скорости потока проверяется срабатывание сигнальных и отключающих контактов реле при понижении уровня масла в реле. Проверка может производиться на установке для проверки реле по скорости потока, для чего масло из корпуса реле сливается через отверстие в дне корпуса реле или через сливную трубку.

5. Проверка изоляции цепей газовой защиты. Сопротивление изоляции цепей газовой защиты измеряется мегомметром 1000 В, после чего производится испытание изоляции переменным напряжением 1000 В в течение 1 мин.

6. Проверка действия защиты на сигнал и отключение. Производится поочередным замыканием выводов реле при номинальном напряжении и 0,8 номинального напряжения оперативного тока. Защита должна четко действовать на сигнал и отключение в соответствии с принципиальной схемой защиты. При полностью собранной схеме защиты и включенных масляных выключателях (отключенном короткозамыкателе) проверяется работа газовой защиты нагнетанием воздуха в реле. Для этого автомобильным насосом или от баллона через кран в реле нагнетается воздух. При вытеснении примерно 400 см^3 (определяется через смотровое стекло реле) воздуха реле должно сработать



на сигнал. При дальнейшем вытеснении масла срабатывает отключающий элемент реле, воздействуя на отключение выключателей (включение короткозамыкателя). Если таким способом не удается добиться срабатывания отключающего элемента реле, то эту проверку выполняют, сливая масло через отверстие в дне корпуса реле при закрытом кране на маслопроводе между реле и расширителем. Эту проверку можно выполнить в том случае, если кран плотно перекрывает маслопровод.

7. Проверка поведения реле при пуске и остановке циркуляционных насосов и вентиляторов системы охлаждения. Производится многократным повторением указанных операций, при которых газовая защита не должна срабатывать.

Реле частоты типов РЧ-1 и РЧ-2

На рис. XVII.45 приведена принципиальная схема реле понижения частоты типа РЧ-1. Схема реле повышения частоты типа РЧ-2 отличается от схемы реле РЧ-1 обмоточными данными дросселей *L1* и *L2*, отсутствием уставок по времени срабатывания (вместо трех емкостей установлена одна *6C*) и фазочувствительной схемой (рис. XVII.46), в которой конденсатор *C2* перенесен в цепь коллектора транзистора *VT1*, а база транзистора *VT3* включена на делитель, образованный резисторами *R13* и *R35*.

Диапазон уставок срабатывания реле РЧ-1 составляет 45—50 Гц, уставок возврата — 46—51 Гц; диапазон уставок срабатывания и возврата реле РЧ-2 составляет 50—55 Гц. Минимальная разность между частотой срабатывания и частотой возврата реле не превышает 0,1 Гц. Изменение частоты срабатывания не превышает 0,2 Гц при изменении напряжения сети от 0,4 до 1,3 $U_{ном}$ для реле РЧ-1 и от 0,6 до 1,5 $U_{ном}$ для реле РЧ-2. Уставки по времени срабатывания составляют 0,15; 0,3 и 0,5 с для реле РЧ-1; время срабатывания реле РЧ-2 не превышает 0,12 с.

Проверка и калибровка реле выполняются в следующем объеме.

1. Проверка и регулировка контактной системы выходного реле (рис. XVII.47). При отпущенном якоре воздушные зазоры должны быть: между якорем и плоскостью заднего керна сердечника (зазор *а*) не

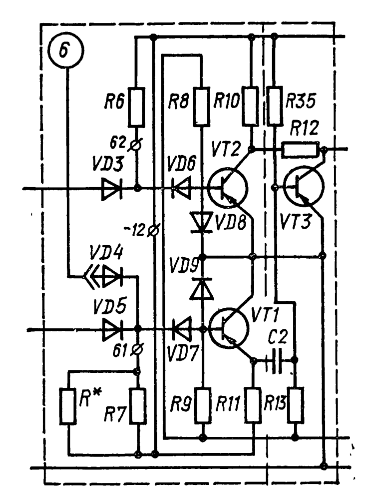


Рис. XVII.46. Фазочувствительная схема реле типа РЧ-2.

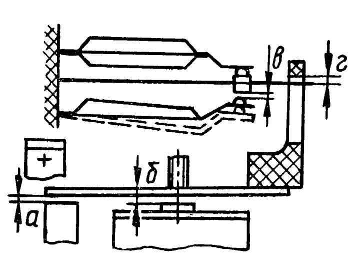


Рис. XVII.47. Контактная система исполнительного органа реле частоты типа РЧ.

более 0,05 мм (регулировка производится перемещением сердечника вверх или вниз при отпущенных винтах, крепящих его к скобе); между якорем и плоскостью немагнитной пластинки на керне сердечника (зазор *б*) около 1 мм, торец винта должен касаться верхней плоскости якоря; между подвижными и неподвижными контактами (зазор *в*) не менее 1 мм (регулировка производится подгибанием упорной пластинки и пластинки неподвижного контакта в месте их закрепления в изоляционных колодках); между пластинкой подвижного контакта и рамкой толкателя (зазор *г*) 0,2—0,3 мм. Провал контактов 0,2—0,3 мм. Давление пластинки неподвижных замыкающих контактов на упорные пластинки должно быть около 0,2 Н.

2. Проверка цепей питания. При номинальном напряжении постоянного тока напряжения между точками схемы *2а—8b* должны быть в пределах 4,8—6,4 В, между точками *4а—8b*—19,8—24,2 В, между точками *8b — минус 12 В* — 11, 5—12,5 В; последнее напряжение при необходимости устанавливается резистором *R33*. Основные точки для измерения напряжений указаны на печатной плате со стороны фольги.

3. Проверка входного трансформатора *Т*. При напряжении ~100 В на зажимах *7—8* реле ток холостого хода трансформатора не должен превышать 4 мА, а напряжение между выводами *8b—7b* и *8b—8а* должно быть в пределах 45—52 В для реле РЧ-1 и 30—35 В для реле РЧ-2.

4. Проверка дросселей *L1*, *L2*, *L3*. Напряжения на отпайках дросселей *L1* и *L2* при подаче на всю обмотку дросселя 100 В, отсоединенных резисторах *1R* и *2R* и полностью выведенном магнитном шунте должны соответствовать табл. XVII.21. Номера отпаек в таблице отсчитываются от начала обмотки. Полное сопротивление дросселя *L3* измеряется методом амперметра — вольтметра и при напряжении на его зажимах 100 В должно быть в пределах 1150—1400 Ом.

Таблица XVII.21. **Значения напряжений на отпайках дросселей *L*1, *L*2 реле частоты типов РЧ-1 и РЧ-2**

Отпайки	Напряжение, В, для реле типа	
	РЧ-1	РЧ-2
0—1	2,4—2,5	2,2—2,3
0—2	92	92,5
2—3	1,8—2,0	1,7—1,9
2—4	3,8—4,2	3,5—3,9
2—5	5,8—6,4	5,3—5,9
2—6	8,0—8,5	7,3—7,8

5. Проверка напряжений срабатывания и возврата выходного реле. Напряжение срабатывания реле должно составлять 12,5—14 В, напряжение возврата — не менее 1,5 В.

6. Проверка уставок частоты срабатывания и возврата реле. На зажимы *7—8* реле подается напряжение переменного тока от генератора промышленной частоты; на зажимы *1—3* — номинальное напряжение постоянного тока с соблюдением указанной полярности. Проверку начинают с минимальной уставки (ручки потенциометров *1R* и *2R* должны находиться в крайнем левом положении). Изменением положения шунта дросселя *L1* добиваются соответствующей уставки частоты срабатывания реле, после чего, закоротив зажимы *5—6* реле, регулировкой шунта дросселя *L2* устанавливают необходимую частоту

Таблица XVII.22. **Значения напряжений на транзисторах схемы реле частоты типов РЧ-1 и РЧ-2**

Режим работы реле	Напряжение на транзисторах, В							
	VT1	*VT2*	*VT4*	*VT5*	*VT6*	*VT7*	*VT8*	*VT9*
Подано напряжение постоянного тока	Не более 0,2							—22
Подано постоянное и переменное напряжение; реле не работает	—2,5	—5,5	—11,5	+0,2	—10,5	+5,5	+0,2	—22
Подано постоянное и переменное напряжение; реле сработало	—2,5	—5,5	—11,5	+0,45	—12	+0,45	—2,8	+0,2

возврата. Поворотом ручек резисторов *1R* и *2R* вправо проверяют частоты срабатывания и возврата реле, которые должны различаться не менее чем на 1 Гц при крайних положениях ручек резисторов.

7. Регулировка зависимости частоты срабатывания и возврата реле от напряжения переменного тока. Осуществляется подстроечным резистором *R*, который с помощью специальных лепестков на обратной

стороне платы печатного монтажа может подпаиваться параллельно резистору *R6* или *R7*. При калибровке реле значение сопротивления резистора обычно находится в пределах 20—300 кОм.

8. Проверка времени срабатывания и возврата реле. Время срабатывания реле определяется от момента подачи на реле номинального напряжения переменного тока (при поданном номинальном напряжении постоянного тока) с частотой, отличающейся не менее чем на 0,1 Гц от частоты уставки реле, до момента замыкания цепи на зажимах реле *2—4*. Время возврата реле определяется от момента сброса напряжения переменного тока до момента разрыва цепи на зажимах *2—4* реле. Время возврата реле не должно превышать 0,15 с.

На лицевой плате установлена кнопка *SB* проверки работоспособности реле без изменения частоты напряжения, подводимого к реле. При нажатии кнопки *SB* реле должно сработать.

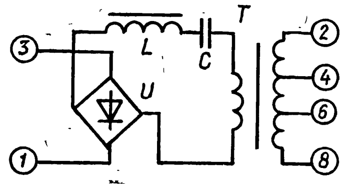


Рис. XVII.48. Принципиальная схема вспомогательного устройства типа ВУ-3.

В табл. XVII.22 приведены ориентировочные значения напряжений на транзисторах схемы реле типов РЧ-1 и РЧ-2. Эти данные могут быть использованы при необходимости проверки исправности элементов схемы.

Через вспомогательное устройство типа ВУ-3 (рис. XVII.48) питание реле типов РЧ-1 и РЧ-2 может осуществляться от цепей напряжения переменного тока. Вспомогательное устройство ВУ-3 обеспечивает нормальную работу реле частоты в диапазоне напряжений, подводимых к устройству ВУ-3, от 0,4 до 1,3 $U_{ном}$.

При проверке устройства ВУ-3 снимается зависимость выпрямленного напряжения на зажимах *1—3* при подключенном к этим зажимам реле частоты от напряжения переменного тока, подаваемого на устройство ВУ-3.

Реле повторного включения типов РПВ-58, РПВ-69Т и РПВ-258

Принципиальные схемы реле типов РПВ-58, РПВ-69Т, РПВ-258 приведены на рис. XVII.49.

Наладка реле типов РПВ-58, РПВ-69Т и РПВ-258 сводится к проверке и регулировке их элементов и взаимодействия последних. При проверке и регулировке реле *KL* необходимо убедиться, что номинальный ток удерживающей катушки реле соответствует потреблению последовательно включенного аппарата в схеме управления выключателем; якорь реле должен удерживаться в притянутом положении при прохождении через удерживающую катушку тока, равного 90 % номинального. Прогиб открытых и закрытых контактов должен быть около 0,5 мм, зазор между контактами 1,5—1,8 мм.

Реле времени проверяют в соответствии с указаниями по проверке реле времени.

Для определения времени заряда конденсатора *C* в реле типов РПВ-58 и РПВ-69Т к зажимам *6—7* прикладывается напряжение оперативного тока. Через 30—35 с напряжение отключается, и замыканием вручную контактов реле времени *KT* создается контур для разряда

конденсатора C через обмотку кодового реле. Время заряда конденсатора сокращают постепенно, пока заряд конденсатора не окажется недостаточным для срабатывания кодового реле. Полученное время и принимается минимально необходимым для заряда конденсатора, оно должно быть в пределах 15—25 с.

При необходимости время регулируется положением фиксирующего винта кодового реле, изменяющего нажатие на контактную систему и, следовательно, напряжение его срабатывания. При подведении к реле

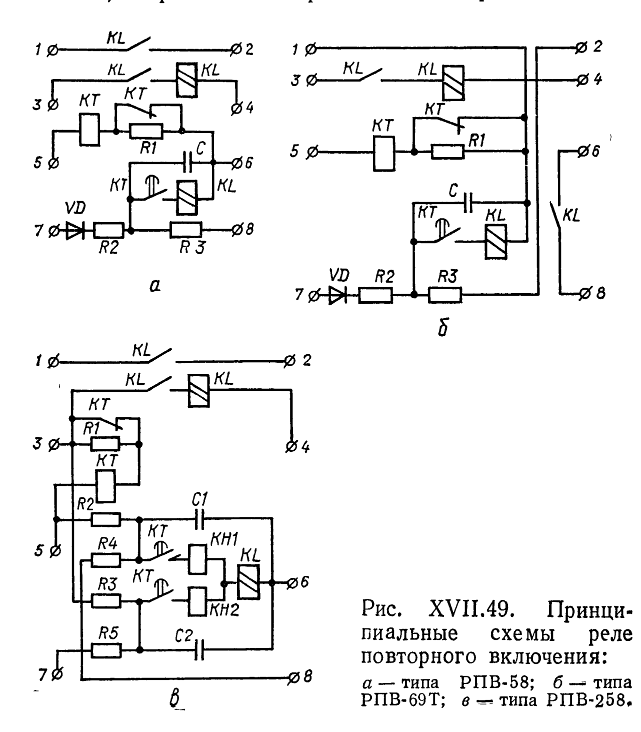


Рис. XVII.49. Принципиальные схемы реле повторного включения:
а — типа РПВ-58; *б* — типа РПВ-69Т; *в* — типа РПВ-258.

напряжения, равного 80 % номинального, реле KL должно сработать (при замыкании контактов реле времени) через время, не превышающее 2 мин.

При проверке реле типа РП-258 таким же образом определяется время заряда каждого из конденсаторов $C1$ и $C2$ при подведении к реле номинального напряжения и 80 % номинального. Это время должно находиться в пределах 60—100 с при номинальном напряжении и 3,5 мин — при напряжении, равном 80 % номинального.

В настоящее время взамен реле РПВ-58 и РПВ-69Т разработаны реле повторного включения типа РПВ-01, а взамен реле РПВ-258 — реле типа РПВ-02. Реле РПВ-01 и РПВ-02 выполнены на базе интегральных микросхем.

Выходные контакты реле имеют гальваническую развязку с основными цепями реле с помощью промежуточных реле.

Реле времени

Электромагнитные реле времени серий ЭВ-100 и ЭВ-200

В объем проверки электромагнитного реле времени входят: внешний осмотр, проверка механической части, изоляции, напряжений срабатывания и возврата, проверка и регулировка времени срабатывания.

При внешнем осмотре и проверке механической части реле необходимо убедиться в том, что плунжер электромагнита чист и хорошо отполирован; возвратная пружина — конической формы, витки ее не ложатся друг на друга при втянутом плунжере; плунжер и возвратная пружина — без следов ржавчины; люфт плунжера в латунной гильзе (поперечный) — 0,3—0,6 мм, люфт рычага плунжера в пластмассовой колодке — 1—1,5 мм.

Необходимо проверить надежность крепления стопорным винтом держателя подвижного контакта на оси часового механизма и крепления фиксирующими винтами колодок с неподвижными контактами.

В реле типов ЭВ-217—ЭВ-247, ЭВ-218—ЭВ-248 часовой механизм должен быть установлен так, чтобы при притянутом якоре с замкнутыми на максимальной уставке выдержки времени реле контактами зазор между рычагом, связанным с якорем, и заводным рычагом часового механизма был равен 0,5—1 мм; такой же зазор должен быть обеспечен у реле типов ЭВ-215—ЭВ-245 и ЭВ-215К—ЭВ-245К между рычагом, связанным с якорем, и роликом на рычаге заводного механизма при притянутом якоре и полностью заведенном механизме.

Убеждаются в том, что при многократном запуске (вручную) часового механизма не прослушиваются перебои и срывы в его работе; стрелка с подвижным контактом равномерно вращается вдоль всей шкалы; контактные пружины лежат в одной плоскости, перпендикулярной шкале; в момент замыкания оба неподвижных контакта соприкасаются с подвижным одновременно; прогиб их в месте касания с подвижным контактом составляет не менее 0,7—1,0 мм; пластина подвижного переключающего контакта имеет прогиб в средней части при верхнем положении 0,5—1 мм и при нижнем — 1—2 мм; в среднем положении (в момент переключения) пластина не прогибается. Зазор между неподвижным и подвижным контактами должен быть около 2,5 мм, а для реле типов ЭВ-113—ЭВ-143, ЭВ-215К—ЭВ-245К около 1,5 мм. Регулировка зазора производится подгибанием неподвижных контактных пластинок.

При медленном отпускании плунжера часовой механизм вместе со стрелкой должен четко вернуться в исходное положение.

Напряжение срабатывания определяют при подаче на реле толчком напряжения. Напряжение возврата проверяют при плавном его уменьшении.

Минимальное напряжение четкого срабатывания для реле серий ЭВ-100 должно быть не выше 70 % номинального, для реле типов ЭВ-215, ЭВ-225, ЭВ-235 и ЭВ-245 — не выше 75 % номинального и для реле типов ЭВ-217, ЭВ-227, ЭВ-237, ЭВ-247, ЭВ-218, ЭВ-228, ЭВ-238, ЭВ-248 — не выше 85 % номинального напряжения. Напряжение возврата реле должно быть не ниже 5 % номинального напряжения (для реле типов ЭВ-215—ЭВ-245 напряжение возврата находится в пределах 5—55 % номинального, для реле типов ЭВ-215К—ЭВ-245К с устройством типа ВУ-200 — не более 35 % номинального при трехфазном и не более 55 % номинального при двухфазном питании).

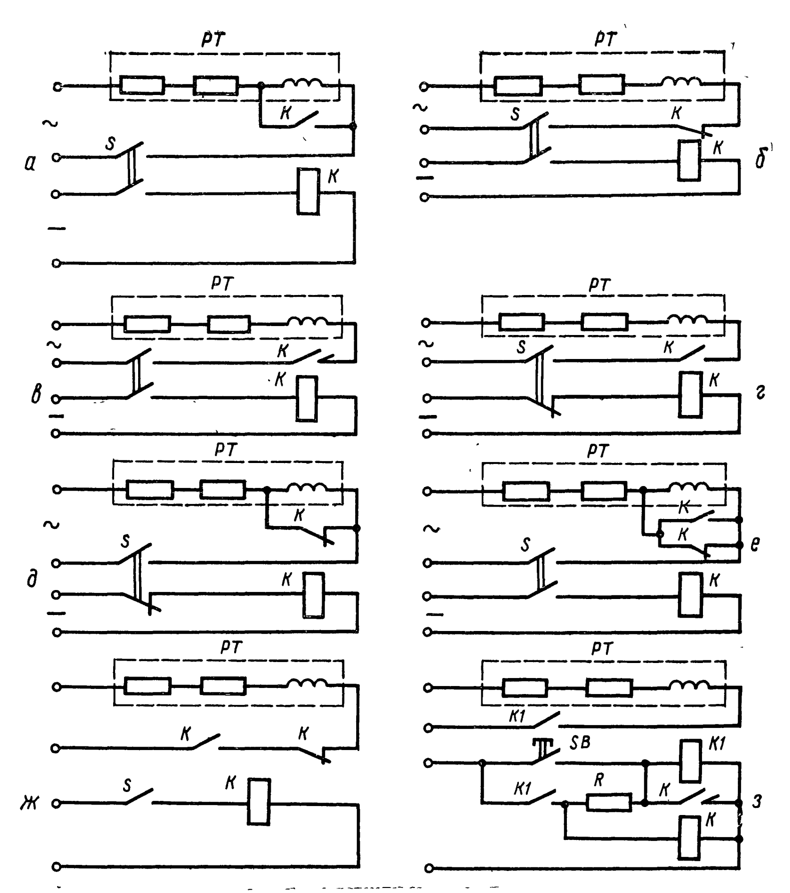


Рис. XVII.50. Схемы измерения выдержек времени реле времени и промежуточных реле:

а — время замыкания контактов при срабатывании реле; *б* — время размыкания контактов при срабатывании реле; *в* — длительность замкнутого состояния проскальзывающего контакта; *г* — время размыкания контактов при возврате реле; *д* — время замыкания размыкающих контактов при возврате реле; *е* — продолжительность бестоковой паузы переключающих контактов; *ж* — время перекрытия мостящих контактов; *з* — время срабатывания проскальзывающих контактов; *S* — рубильник; *SB* — кнопка; *K1* — вспомогательное промежуточное реле; *PT* — электросекундомер; *R* — резистор (балластное сопротивление).

Время срабатывания реле проверяется электросекундомером по схемам, приведенным на рис. XVII.50, при номинальном напряжении и при 0,7—0,85 $U_{ном}$.

Разброс времени — разность между максимальным и минимальным временем срабатывания при десяти измерениях на одной и той же уставке при $U_{ном}$— не должен превышать следующих значений:

Максимальная выдержка времени, с	1,3	3,5	9	20
Разброс времени, с	0,06	0,12	0,25	0,8

Время замкнутого состояния проскальзывающего контакта находится в следующих пределах:

Максимальная выдержка времени, с	1,3	3,5	9	20
Время замкнутого состояния, с	0,05—0,1	0,17—0,25	0,45—0,65	1—1,5

При расхождении полученных выдержек времени с уставками по шкале следует ослабить винты, крепящие шкалу, и повернуть ее в нужном направлении. Если реле срабатывает значительно медленнее или наблюдается разброс времени срабатывания реле, превышающий норму, следует произвести ревизию часового механизма.

В настоящее время взамен реле серий ЭВ-100 и ЭВ-200 выпускаются реле серий РВ-100 и РВ-200, отличающиеся повышенной надежностью часового механизма.

Реле времени типов РВМ-12 и РВМ-13

Принципиальная схема реле приведена на рис. XVII.51. Реле состоит из двух насыщающихся трансформаторов, включаемых во вторичные цепи измерительных трансформаторов тока любых двух фаз трехфазной системы, электродвигателя и контактной системы (электродвигатель должен включаться только в одну какую-либо цепь).

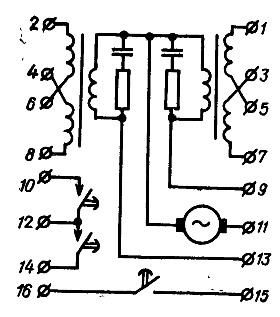


Рис. XVII.51. Принципиальная схема реле типов РВМ-12 и РВМ-13.

При наладке и регулировке реле необходимо руководствоваться следующим.

Рама с подвижными контактами должна свободно вращаться в своих подшипниках; осевой люфт — в пределах 0,2—0,4 мм; осевой люфт промежуточной оси — 0,2—0,4 мм. Сцепление с ведущей шестеренкой моторчика должно иметь зазор порядка 0,08 мм. Перемещением микродвигателя можно изменить зазор в сцеплении за счет люфтов между крепящими винтами и отверстиями в плате микродвигателя. Нажатие подвижных контактов на неподвижные должно быть в пределах 0,05 — 0,1 Н, что обеспечивается регулировкой прогиба неподвижных контактов, который должен быть в пределах 0,4—0,6 мм.

Пружина для возврата подвижной контактной рамы должна быть отрегулирована так, чтобы она в любом положении могла преодолевать сопротивление двух контактных пластинок при одинаковых уставках времени срабатывания (выполнение одинаковых уставок на трех контактах не допускается). Регулировка осуществляется перемещением угольника, крепящего конец пружины.

При проверке исправности двигателя необходимо иметь в виду следующее.

В зубчатых сцеплениях ротора с колесом не должно быть загрязнений; при подаче на катушку статора напряжения не более 55 В ротор должен вращаться с синхронной скоростью 500 об/мин и входить в зацепление с зубчатым колесом; при питании через насыщающийся трансформатор, последовательном соединении первичной обмотки и токах от

2,5 до 75 А двигатель должен вращаться равномерно; при снятии тока ротор двигателя должен четко опускаться на нижний упор.

Ток срабатывания реле при последовательном соединении обмоток составляет 2,4—2,5 А, а при параллельном — 4,8—5,0 А. Ток четкого возврата подвижных частей реле в исходное положение должен быть не ниже 0,2 А при параллельном соединении обмоток.

Зависимость полного сопротивления реле от тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора $Z_р = f(I)$ приведена на рис. XVII.52.

Время срабатывания реле проверяется по схеме, аналогичной схеме проверки реле времени серии ЭВ. После установки в первичной цепи тока срабатывания напряжение на катушку электродвигателя должно подаваться толчком, т. е. замыканием управляющего контакта. Реле допускают длительное протекание по первичным обмоткам тока 10 А и в течение 4 с тока 150 А (при параллельном соединении обмоток).

Разброс времени срабатывания проверяется на максимальной уставке времени конечного контакта при 1,5-кратном токе срабатывания. Разброс времени срабатывания при изменении тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора от $I_{ср}$ до $20I_{ср}$ не превышает 0,12 с для реле РВМ-12 и 0,25 с — для реле РВМ-13.

Потребляемая мощность реле при двукратном токе срабатывания не более 10 В · А.

Рис. XVII.52. Зависимость полного сопротивления токовой цепи реле типов РВМ-12 и РВМ-13 от тока в первичной обмотке насыщающегося трансформатора (секции первичной обмотки соединены последовательно).

Промежуточные и указательные реле

В объем проверки промежуточных и указательных реле входят внешний осмотр, проверка механической части, изоляции токоведущих частей, напряжения (тока) срабатывания и возврата реле, а также удерживания (при соответствующих обмотках). В случае необходимости проверяют время срабатывания и возврата реле.

Промежуточные реле

Промежуточные и указательные реле не имеют специальных приспособлений для изменения их тока или напряжения срабатывания и возврата и времени замедления. Поэтому эти параметры регулируют обычно изменением начального и конечного зазоров между якорем и сердечником, изменением натяжения возвратных и контактных пружин и т.п. При этом одновременно изменяются время замедления реле и напряжение или ток срабатывания и возврата. Поэтому регулировку механизма реле необходимо производить одновременно с проверкой его электрических характеристик.

При регулировке тока и напряжения срабатывания и возврата, времени замедления необходимо учитывать следующие основные положения: а) при уменьшении начального зазора между якорем и сердечником уменьшается напряжение срабатывания и замедление на срабатывание; б) при уменьшении конечного зазора между якорем и сердечником уменьшается напряжение возврата и увеличивается за-

медление на возврат; в) при ослаблении возвратной пружины уменьшается напряжение срабатывания и замедление на срабатывание, а также уменьшается напряжение и увеличивается время возврата; г) увеличение числа замыкающих контактов и увеличение давления их пружин увеличивает напряжение и уменьшает время возврата; д) увеличение числа размыкающих контактов и давления их пружин увеличивает время и напряжение срабатывания.

В отдельных типах реле имеются специальные демпферные шайбы или демпферные обмотки, замедляющие срабатывание или возврат реле (либо и то, и другое). Демпфирование применяется в реле серий РП-250, РЭВ-810 и РЭВ-880.

Время возврата и срабатывания реле типов РП-251 и РП-252 можно снизить уменьшением числа медных демпферных шайб (у реле РП-251 время срабатывания уменьшается также приближением катушки реле к рабочему воздушному зазору). Реле типов РП-253 и РП-254 могут срабатывать и возвращаться с замедлением и без него. Замедление на срабатывание и возврат достигаются закорачиванием демпферной обмотки при срабатывании или возврате реле. Перестановкой контактов в цепи демпферной обмотки можно увеличить время срабатывания реле РП-254 или время возврата реле РП-253.

У реле серий РЭВ-810 и РЭВ-880 демпферами служат алюминиевые или медные цилиндры и алюминиевые основания реле. Для уменьшения замедления можно укоротить цилиндр или сделать прорезь по образующей цилиндра. Для увеличения времени отпадания применяют схему закорачивания рабочей обмотки или включения параллельно обмотке резистора.

В нормально отрегулированных реле замыкание всех замыкающих контактов и размыкание всех размыкающих контактов должно происходить одновременно для каждой группы контактов.

Ниже приводятся основные данные по регулировке механической части промежуточных реле различных серий.

Реле серии РП-20. Зазор между подвижными и неподвижными контактами — не менее 2,5 мм (регулировать можно подгибанием верхнего упора); давление контактов — в пределах 0,12—0,22 Н; регулировка давления контактов осуществляется подгибанием неподвижных контактных угольников. Провал контактов должен быть в пределах 0,7—1 мм.

При обесточенном состоянии реле РП-23 и РП-24 подвижная контактная система должна упираться в верхний упор; зазор между ограничителем хода якоря и якорем — в пределах 0,5—2 мм. При обесточенном состоянии реле РП-25 и РП-26 зазор между хвостовиком скобы якоря и упором пластмассовой колодки должен быть около 0,5 мм. При притянутом якоре подвижная контактная система должна иметь свободный ход 0,5—1,5 мм. Необходимый свободный ход достигается подгибанием заднего хвостовика скобы.

В реле РП-24 и РП-26 указатель срабатывания должен свободно вращаться на своей оси; в заведенном состоянии защелкивающая пружина заходит за зуб флажка примерно на 1 мм. При возврате указателя срабатывания нажатием кнопки он должен четко возвращаться в исходное положение.

Перестановкой угольников неподвижных контактов можно получить различные сочетания замыкающих и размыкающих контактов.

Реле серии РП-210. Зазор между якорем и сердечником обесточенного реле — не более 1 мм; для четкого срабатывания и возврата реле типов РП-211 и РП-215 давление подвижных контактных пластинок на рамку толкателя — не менее 0,05 Н, для остальных реле — не менее 0,03 Н на каждую контактную пластинку при отпущенном якоре.

При этом верхние контактные пластинки реле РП-211 и РП-215 должны быть отведены. Такому давлению соответствуют провалы пластинок размыкающих контактов 0,2—0,3 мм.

Зазор между замыкающими контактами реле при отпущенном якоре должен быть не менее 1 мм; провал замыкающих контактов определяется зазором не менее 0,25 мм между медным штифтом на переднем керне сердечника и якорем; при указанном зазоре все замыкающие контакты замкнуты. Провал размыкающих контактов (для реле РП-215) определяется зазором не менее 0,3 мм между торцом регулировочного винта и верхней плоскостью якоря; при указанных зазорах все размыкающие контакты должны быть замкнуты.

Реле серии РП-220. При отпущенном якоре зазор между якорем и плоскостью заднего полюса сердечника должен быть около 0,05 мм, зазор между якорем и немагнитной прокладкой переднего полюса — около 1 мм. Регулировка первого зазора производится перемещением сердечника при ослабленных винтах, крепящих сердечник к скобе, регулировка второго зазора производится упорным винтом, нижний конец которого должен касаться якоря. У реле типов РП-221 и РП-225 при отпущенном якоре между пружиной подвижного замыкающего контакта и рамкой толкателя должен быть зазор 0,3—0,5 мм; зазор между контактами как при отпущенном, так и при притянутом якоре должен быть не менее 1 мм; давление каждой контактной пружины замыкающих контактов на рамку толкателя при отпущенном якоре должно быть не менее 0,05 Н у реле РП-221 и РП-225 и не менее 0,03 Н у остальных реле; провал неподвижных замыкающих контактов при притянутом якоре для всех типов реле должен быть 0,2—0,3 мм; для исключения вибрации контактов реле при срабатывании давление каждой неподвижной контактной пружины замыкающих контактов на свою упорную пластинку должно быть около 0,2 Н; суммарное усилие на толкателе от цилиндрической пружины и пластин подвижных контактов должно быть 0,1—0,2 Н у реле РП-221 и РП-225 и 0,2—0,4 Н у остальных реле. Регулировка контактов производится подгибанием контактных пружин у места выхода их из изоляционных пластинок.

Реле серии РП-230. Регулировка реле производится аналогично регулировке реле серии РП-20 со следующими уточнениями: давление контактов должно быть в пределах 0,12—0,22 Н; давление подвижной контактной системы на верхний упор должно быть не менее 0,9 Н; провал контактов должен быть в пределах 0,7—1 мм.

Реле серии РП-250. Зазор между подвижным и неподвижным контактами должен быть для всех реле, за исключением реле РП-253, не менее 2,5 мм; для реле РП-253 — не менее 2,0 мм, а для размыкающего контакта в цепи демпферной обмотки этого реле при притянутом якоре — не менее 1,5 мм. Зазор между контактами устанавливается регулировочным винтом на скобе, крепящей якорь. Давление контактов должно быть не менее 0,15 Н на каждый контакт, что соответствует провалу контактного мостика не менее 0,5 мм. Начальный воздушный зазор между якорем и скобой магнитопровода для всех реле составляет около 3 мм. Регулировка начального зазора между якорем и скобой магнитопровода осуществляется с помощью диамагнитного винта скобы якоря.

Реле типа РП-311. Сердечник установлен так, чтобы между якорем и полюсом сердечника со стороны оси вращения якоря (при притянутом якоре) был зазор в пределах 0,1—0,2 мм. Зазор регулируют, перемещая сердечник вдоль скобы при отпущенных винтах.

Зазор между толкателем и подвижными пластинами переключающих контактов при отпущенном якоре должен быть в пределах 0,8—

1 мм, а подвижные пластины замыкающих контактов должны лежать на толкателе. Между замыкающими контактами должен быть зазор порядка 2,5 мм. Регулируют его подгибанием неподвижных контактных пластин.

Давление контактов — в пределах 0,12—0,18 Н. Его можно отрегулировать путем подгибания подвижных контактных пластин. Провал контактов должен быть не менее 0,3 мм, что обеспечивается зазором 0,3 мм между якорем и нижним керном сердечника при замкнутом состоянии всех замыкающих контактов. Язычок скобы, несущей толкатель, при обесточенном реле упирается в сердечник электромагнита реле.

Реле типов РП-321 и РП-341. Сердечник должен быть установлен так, чтобы якорь в притянутом положении нажимал на медную прокладку; между якорем и вторым керном сердечника допускается зазор до 0,2 мм. В реле РП-321 при отпущенном якоре зазор между толкателем и подвижными пластинами переключающих контактов равен 0,1—0,5 мм, а подвижные пластины замыкающих контактов должны опираться на толкатель; зазор между замыкающими контактами должен быть порядка 2,5 мм; регулировать его можно подгибанием неподвижных контактных пластин.

В реле РП-341 зазор замыкающих усиленных контактов должен быть в пределах 1,5—2 мм, размыкающих — не менее 2 мм. При втягивании якоря сначала должен замкнуться замыкающий усиленный контакт и только после этого разомкнуться размыкающий контакт. Для выполнения этого условия в момент замыкания замыкающего контакта между угольником и подвижной контактной пластиной размыкающего контакта должен быть зазор 0,5 мм, который регулируется подгибанием угольника.

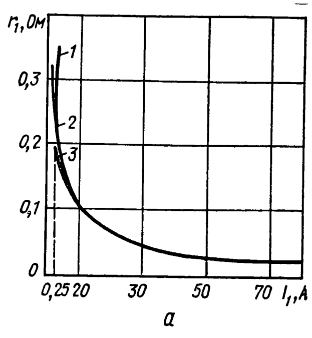
Зазор между угольником и подвижной пластиной переключающего нормального контакта должен быть в пределах 0,5—0,8 мм, а зазор между замыкающими контактами — не менее 1,6 мм. При необходимости угольник можно подогнуть.

Давление каждого подвижного контакта переключающих нормальных контактов на неподвижный размыкающий контакт должно быть в пределах 0,12—0,18 Н, а каждой подвижной контактной пластины замыкающего контакта на толкатель — не менее 0,08 Н. Контактное давление можно регулировать подгибанием подвижных контактных пластин. Давление подвижной контактной пластины замыкающего усиленного контакта на пружину толкателя должно быть таким, чтобы при отпущенном якоре скоба хвостовика якоря своим язычком упиралась в сердечник. Давление подвижного замыкающего контакта на неподвижный при притянутом якоре должно быть не менее 0,5 Н, а давление подвижного размыкающего контакта на неподвижный (при отпущенном якоре) — не менее 0,3 Н. Давление можно регулировать подгибанием (на расстоянии не более 3 мм от колодок) подвижных контактных пластин. Провал нормальных контактов должен быть не менее 0,3 мм, что достигается зазором между сердечником и якорем (при притянутом якоре), замыкающие контакты при этом должны быть замкнуты.

Реле типов РП-8, РП-9, РП-11 и РП-12. Зазоры между контактами, выведенными на зажимы цоколя, должны быть не менее 1,8 мм, а между контактами, включенными в цепи катушек, 1—1,3 мм; между толкателем и подвижными контактными пластинками контактов, выведенных на зажимы цоколя, в замкнутом положении контактов должен быть зазор 0,5—0,8 мм (для контактов, включенных в цепи катушек реле, указанный зазор не контролируется). Регулировка зазоров производится подгибанием неподвижных контактных пластинок.

Давление подвижных контактов на неподвижные должно быть в пределах 0,1—0,18 Н; регулировка давления контактов производится подгибанием подвижных пластинок вместе с охватывающими их выводными пластинками.

Проверка напряжения (тока) срабатывания и возврата реле. Напряжение срабатывания промежуточных реле должно быть не более 70 % номинального напряжения реле (для реле РП-25 и РП-26 завод гарантирует напряжение четкого срабатывания, равное 85 % $U_{ном}$). Напряжение четкого возврата реле, гарантируемое заводом, не менее 3—5 % $U_{ном}$. Для предотвращения ложных срабатываний реле при частичных замыканиях на землю в цепях оперативного тока нижним пределом напряжения срабатывания реле, ложная работа которых может привести к отключению ответственных устройств, следует считать 60 % $U_{ном}$. Снижение напряжения срабатывания достигается ослаблением противодействующей пружины или уменьшением начального зазора между якорем и сердечником реле.



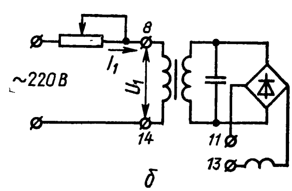


Рис. XVII.53. Зависимость сопротивления реле типов РП-321 и РП-341 от первичного тока реле:

а — кривая зависимости; *б* — схема измерения сопротивления; *1* — зажимы *11*—*13* разомкнуты; *2* — на зажимы *11* и *13* включены два указательных реле типа РУ-21/0,025; *3* — зажимы *11* и *13* закорочены.

Ток удерживания реле РП-212, РП-213, РП-214, РП-233 при отсутствии напряжения на рабочей обмотке должен быть не менее 80 % номинального тока. Напряжение удерживания реле РП-233 при отсутствии тока в токовой обмотке должно быть не более 70 % $U_{ном}$.

При необходимости однополярные выводы реле могут быть определены следующим образом. Находят напряжения и токи срабатывания всех параллельных и последовательных обмоток реле. В одну из обмоток подают ток, немного меньший, чем ток срабатывания. Остальные обмотки получают ток (напряжение), который плавно изменяется до срабатывания реле.

Если ток (напряжение) срабатывания уменьшился по сравнению с ранее измеренным, зажимы обеих обмоток, присоединенные к одному и тому же полюсу источника питания, являются однополярными, в противном случае эти зажимы — разнополярные.

Реле типов РП-321 и РП-341. При последовательном соединении катушек реле должны надежно срабатывать при токе 2,5 А, при параллельном соединении ток надежного срабатывания 5 А. Разброс по току срабатывания ± 2 %.

На рис. XVII.53 приведены схемы измерения и кривая зависимости сопротивления реле от значения первичного тока. Коэффициент возврата реле РП-341 0,3—0,5. Значение вторичного тока в реле после дешунтирования должно быть не менее 50 % тока срабатывания реле. Ток срабатывания реле РП-341 должен быть не более 0,8 тока срабатывания пусковых реле защиты. Для оценки состояния выпрямителей и промежуточного трансформатора реле снимают зависимость выпрям-

ленного напряжения (зажимы *11—13* реле) от тока в первичной обмотке промежуточного трансформатора. Примерная характеристика $U = f(I)$ приведена ниже.

L, А	1	2	5	10	20	40	60	80	100
$U =$, В	40	44	56	65	87	90	92	96	98

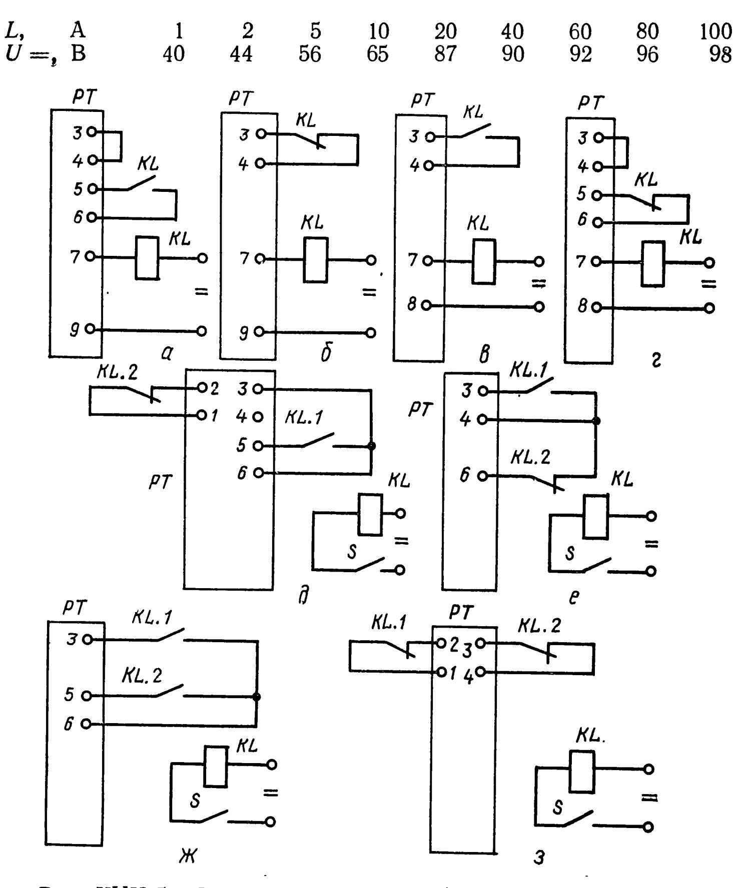


Рис. XVII.54. Измерение времени работы контактов реле миллисекундомером ЭМС-54:

а — время замыкания контактов при срабатывании реле; *б* — время размыкания контактов при срабатывании реле; *в* — время размыкания контактов при возврате реле; *г* — время замыкания контактов при возврате реле; *д* — время бестоковой паузы переключающих контактов при срабатывании реле; *е* — время перекрытия мостящих контактов; *ж* — разновременность замыкания контактов при срабатывании реле; *з* — разновременность размыкания контактов при срабатывании реле.

Реле допускают длительное протекание по первичной обмотке насыщающегося трансформатора 10 А (параллельное соединение первичных обмоток) и в течение 4с тока 150 А.

Измерение выдержек времени работы контактов промежуточных реле. Схемы измерения приведены на рис. XVII.50 и XVII.54. В схемах рис. XVII.54, *ж*, *з* контакт *KL.1* замыкается (размыкается) первым.

Если при измерениях прибор покажет нуль, то это означает, что очередность замыкания (размыкания) контактов другая, и контакты *KL.1* и *KL.2* следует поменять местами.

Для измерения времени работы контактов реле может быть использован также цифровой миллисекундомер типа Ф209, имеющий диапазон измерения $1—10^4$ мс.

Указательные реле

При проверке механической части указательных реле типа РУ-21 следует руководствоваться следующим.

Продольный люфт валика не должен превышать 0,5 мм; зацепление между зубом скобы подвижной контактной системы и выступом якоря 1—0,5 мм; якорь должен упираться в лапки скобы; зуб скобы подвижной контактной системы не должен задевать зуб притянутого якоря; зазор между ними — в пределах 0,2—0,7 мм.

Хвостовик скобы возврата не должен ни при каких условиях упираться в флажок; для надежного нажатия неподвижных контактов на подвижные необходимо, чтобы первые соприкасались с втулкой, когда контакты разомкнуты. Контактная система реле состоит из двух замыкающих контактов, которые позволяют путем перестановки контактных мостиков получить два размыкающих или один замыкающий и один размыкающий контакты.

Реле с последовательно включенной обмоткой четко срабатывают при токе, равном номинальному; при параллельном включении обмотки необходимо напряжение, равное 60 % $U_{ном}$. В первом случае реле длительно выдерживает ток, равный $3I_{ном}$, во втором — напряжение $1{,}1U_{ном}$.

Реле серии РУ-21 могут быть использованы в цепях переменного тока. В табл. XVII.23 приведены типы реле, используемые в качестве

Таблица XVII.23. **Указательные реле серии РУ-21, используемые в цепях переменного тока**

Номинальное напряжение, В	Тип реле	Напряжение срабатывания, В	Длительно допустимое напряжение переменного тока, В
100	РУ-21/0,015	80	150
127	РУ-21/0,015	80	150
220	РУ-21/0,01	150	250
380	РУ-21/110	280	400

параллельных реле в цепях переменного тока. При выборе реле типа РУ-21 для последовательного включения в цепях переменного тока необходимо исходить из того, что число ампер-витков для срабатывания реле должно быть не менее 200.

Полное сопротивление обмотки реле Z при частоте 50 Гц определяется выражением

$$Z = 3{,}5 \cdot 10^{-5}N^2 \text{ [Ом]},$$

где N — число витков обмотки реле.

Угол полного сопротивления обмоток реле всех исполнений как в притянутом, так и в отпущенном состоянии якоря — порядка 50°.

В настоящее время промышленностью выпускаются указательные реле серии РУ-1. Реле имеют исполнения для постоянного и переменного тока. Напряжение срабатывания реле постоянного тока — не более $0{,}7U_{ном}$, реле переменного тока — не более $0{,}8U_{ном}$; ток срабатывания реле постоянного и переменного тока — не более $I_{ном}$. Реле с катушками напряжения длительно выдерживают напряжение, равное $1{,}1U_{ном}$, реле с токовыми катушками длительно выдерживают ток, равный $3I_{ном}$. Время срабатывания реле — не более 0,05 с.

Блоки питания

Блоки питания предназначаются для питания выпрямленным током аппаратуры релейной защиты, сигнализации и управления, выполненной на номинальные напряжения 24—220 В.

В объем наладочных работ блоков питания входят испытание изоляции, проверка выпрямителей, измерение значений тока наступления феррорезонанса (для блоков типа БПТ) и средних значений выходных напряжений.

Сопротивление изоляции блоков питания между любыми электрически не связанными токоведущими частями, а также между ними и корпусом блока при температуре окружающего воздуха + 20 ± 5 °С и относительной влажности до 80 % составляет не менее 10 МОм. Электрическая изоляция всех цепей блоков питания относительно корпуса выдерживает в течение 1 мин испытательное напряжение 2000 В при промышленной частоте. Изоляция между разными обмотками одной катушки блока выдерживает в течение 1 мин испытательное напряжение 500 В при промышленной частоте.

Блоки питания серии БП-11

Принципиальные схемы блоков питания серии БП-11 приведены на рис. XVII.55 и XVII.56.

Блоки питания серии БП-11 рассчитаны на питание аппаратуры с потребляемой мощностью 20—25 Вт.

Блок питания типа БПТ-11 состоит из промежуточного насыщающегося трансформатора с выпрямительным мостом на выходе. Параллельно вторичной обмотке трансформатора включена емкость, которая вместе с ветвью намагничивания трансформатора осуществляет феррорезонансную стабилизацию напряжения на выходе блока. Вторичная обмотка блока типа БПТ-11 имеет ответвления на напряжения 24 и 110 В (рис. XVII.57).

Блоки питания типов БПН-11/1 и БПН-11/2 состоят из двух элементов, каждый из которых представляет собой промежуточный трансформатор напряжения с выпрямительным мостом на выходе.

Первичные обмотки промежуточных трансформаторов состоят из двух секций, включаемых последовательно и параллельно в зависимости от значения входного напряжения (220 или 110 В соответственно). Вторичные обмотки промежуточных трансформаторов выполнены с двумя отпайками. Отпайки с минимальным числом витков, как правило, используются при включении блока на симметричное трехфазное напряжение по схеме открытого треугольника для питания устройств защиты и сигнализации однофазных замыканий на землю. Отпайка от

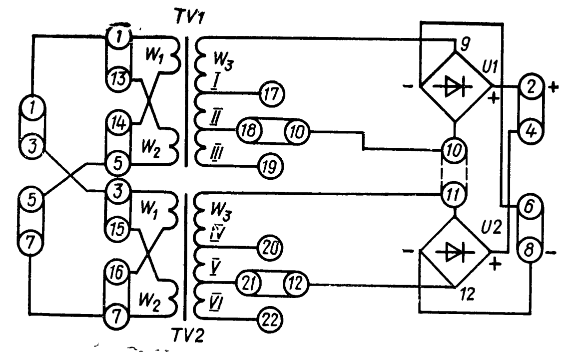


Рис. XVII.55. Принципиальная схема блоков питания типов БПН-11/1 и БПН-11/2.

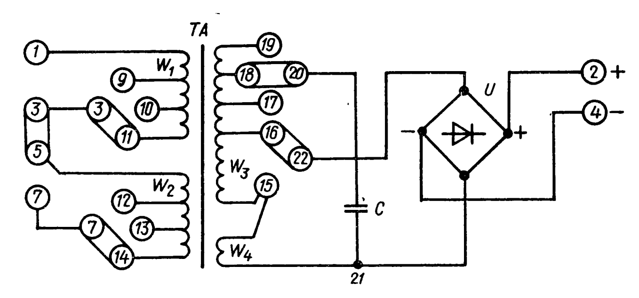


Рис. XVII.56. Принципиальная схема блока питания типа БПТ-11.

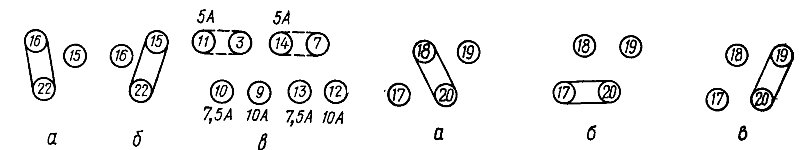


Рис. XVII.57. Положение перемычек при различных напряжениях выхода и уставках тока блока типа БПТ-11:

а — напряжение выхода 110 В; *б* — напряжение выхода 24 В; *в* — уставки тока наступления феррорезонанса.

Рис. XVII.58. Положение перемычки на плате трансформатора блока типа БПТ-11:

а — при токе наступления феррорезонанса, близком к току уставки; *б* — при токе наступления феррорезонанса, превышающем уставку более чем на 10 %; *в* — при токе наступления феррорезонанса, меньшем уставки более чем на 10 %.

среднего числа витков и вся вторичная обмотка используются при двухфазном питании блоков.

Уставки на ток надежной работы блока питания типа БПТ-11 (под током надежной работы понимается ток на входе блока, при котором выходное напряжение равно минимально допустимому) составляют 5; 7,5; 10 А. Для изменения уставок на первичной обмотке насыщающегося трансформатора предусмотрены отпайки. Положение перемычек

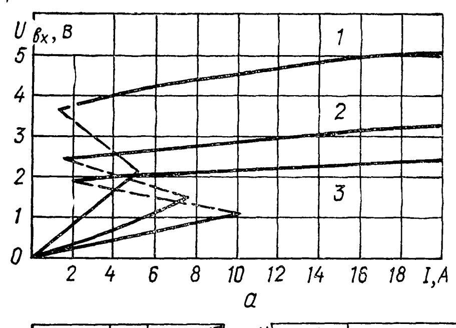
для различных уставок тока показано на рис. XVII.57. На вторичной обмотке насыщающегося трансформатора предусмотрены отпайки для компенсации ухода тока наступления феррорезонанса в случае изменения емкости на ± 10 % (рис. XVII.58).

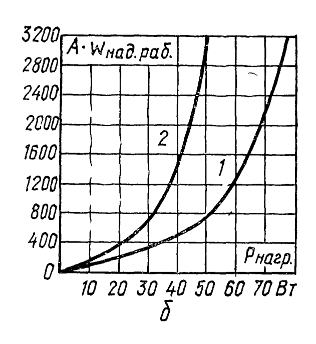
Таблица XVII.24.
Средние значения выходного напряжения блоков типа БПТ-11

Номинальное напряжение выхода, В	Сопротивление нагрузки, Ом	Выходное напряжение, В
110	∞	⩽118
	600	⩾92
24	∞	⩽27
	30	⩾20

Ток наступления феррорезонанса измеряют при плавном увеличении первичного тока и без нагрузки (форма кривой первичного тока должна быть синусоидальной). При протекании тока по одной из первичных обмоток феррорезонанс наступает при токе, отличающемся от тока уставки не более чем на ± 10 %. При последовательном соединении первичных обмоток ток наступления феррорезонанса снижается в 2 раза. Момент наступления феррорезонанса определяется по резкому броску напряжения на выходе блока питания.

Измерение выходного напряжения блока типа БПТ-11 производится при протекании тока, равного 120 % тока уставки, по двум последовательно соединенным первичным обмоткам насыщающегося





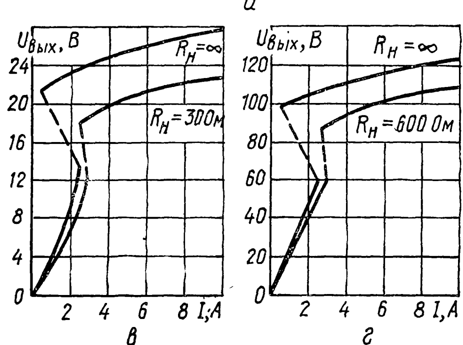


Рис. XVII.59. Характеристики блоков типа БПТ-11:

а — вольт-амперные характеристики при различном числе витков первичной обмотки w_1: *1* — w_1 = 45; *2* — w_1 = 30; *3* — w_1 = 23 витка; *б* — зависимость МДС надежной работы от мощности нагрузки блока при $U_{вых} = 0{,}8\,U_{ном.\,вых}$ = const; *1* — $U_{ном.\,вых}$ = 24 В; *2* — $U_{ном.\,вых}$ = 110 В; *в* — зависимость выходного напряжения блока от первичного тока (последовательное соединение двух секций первичной обмотки по 45 витков) при $U_{ном.\,вых}$ = 24 В; *г* — то же при $U_{ном.\,вых}$ = 110 В.

трансформатора. Значения выходного напряжения должны соответствовать данным табл. XVII.24.

Выходное напряжение следует измерять прибором магнитоэлектрической системы.

На рис. XVII.59 приведены характеристики блоков БПТ-11. Блок питания типа БПТ-11 допускает протекание 15-кратного тока уставки в течение 3 с при сопротивлении нагрузки 200 Ом и номинальном напряжении выхода 110 В, а также при сопротивлении нагрузки 10 Ом и при номинальном напряжении выхода 24 В.

Таблица XVII.25. **Значения выходного напряжения элементов блоков типа БПН-11**

Блок питания	Номинальное напряжение выхода, В	Сопротивление нагрузки, Ом	Выходное напряжение, В	
			Отпайка II или V	Отпайка III или VI
БПН-11/1	110	∞	⩽140	⩽160
		300	⩾90	⩾100
		200	⩾80	⩾90
БПН-11/2	24	∞	⩽28	⩽32
		25	⩾20	⩾23
		10	⩾17	⩾19

Таблица XVII.26. **Значения выходного напряжения блоков типа БПН-11**

Блок питания	Сопротивление нагрузки, Ом	Выходное напряжение (отпайки I, IV), В	Блок питания	Сопротивление нагрузки, Ом	Выходное напряжение (отпайки I, IV), В
БПИ-11/1	∞	⩽120	БПН-11/2	∞	⩽30
	1300	⩽115		500	⩽28
	350	⩾95		50	⩾24

В длительном режиме работы блок питания допускает протекание тока 9,5 А по последовательно соединенным первичным обмоткам; при этом ток нагрузки не должен превышать 0,2 А при номинальном напряжении выхода 110 В и 0,35 А при номинальном напряжении выхода 24 В.

Значения выходного напряжения каждого элемента блока типа БПН-11 при подведении напряжения 105 В приведены в табл. XVII.25. Значения выходного напряжения при питании блока симметричным трехфазным напряжением 105 В (включение блока по схеме открытого треугольника и параллельное включение секций первичной обмотки трансформатора блока) приведено в табл. XVII.26.

Потребление каждого элемента блока питания типа БПН-11 при номинальном входном напряжении в режиме холостого хода не превышает 9 В · А. Блоки питания типа БПН-11 в длительном режиме работы выдерживают напряжение, равное 110 % номинального входного напряжения; при этом ток в нагрузке не должен превышать 0,5 А нри

Таблица XVII.27. **Выбор отпаек первичной обмотки трансформатора блоков питания типа БПТ-1002 в зависимости от типа трансформатора тока**

Тип трансформатора тока	Коэффициент трансформации	Класс сердечника	Число витков в блоке	Первичный ток надежной работы	
				при $R_н = 20$ Ом	при $R_н = 10$ Ом
ТПОЛ-10	600/5	Р	50	$4I_{ном}$	$8I_{ном}$
	1000/5 800/5	Р	75	$2{,}7I_{ном}$	$5{,}4I_{ном}$
ТПЛ-10	1500/5 400/5	Р	75	$2{,}7I_{ном}$	$5{,}4I_{ном}$
	Остальные	Р	50	$4I_{ном}$	$8I_{ном}$
ТВ-35*	600/5	—	125	1000 А	2000 А
ТВД-35*	300/5	—	75	1000 А	2000 А
ТВ-35МКП*	1500/5	—	200	1500 А	3000 А
ТВД-35МКП*	1000/5	—	200	1000 А	2000 А
	750/5	—	175	850 А	1700 А
	600/5	—	125	850 А	1700 А
ТВ-110	1000/5	—	200	1000 А	2000 А
ТН-110	750/5	—	200	750 А	1500 А
	400/5	—	200	500 А	1000 А
	300/5	—	175	500 А	1000 А
	200/5	—	100	500 А	1000 А
ТФН-35-0,5/3	—	0,5	200	$I_{ном}$	$2I_{ном}$
	—	3	100	$2I_{ном}$	$4I_{ном}$
ТФНУД-35Д/0,5	—	0,5	125	$1{,}6I_{ном}$	$3{,}2I_{ном}$
ТФНД-35Д/0,5		Д	200	$I_{ном}$	$2I_{ном}$
ТФНД-110Д/1	—	Д	200	$I_{ном}$	$2I_{ном}$
	—	1	125	$1{,}6I_{ном}$	$3{,}2I_{ном}$
ТФНД-110Д/Д/0,5	—	$Д_1$	175	$1{,}2I_{ном}$	$2{,}4I_{ном}$
	—	$Д_2$	100	$2I_{ном}$	$4I_{ном}$
	—	0,5	75	$2{,}5I_{ном}$	$5I_{ном}$
ТПОФ-10	600/5	0,5; Д	150	$1{,}3I_{ном}$	$2{,}6I_{ном}$
		1	100	$2I_{ном}$	$4I_{ном}$
		3	50	$4I_{ном}$	$8I_{ном}$
	750/5	0,5; Д	150	$1{,}3I_{ном}$	$2{,}6I_{ном}$
		1	75	$2{,}5I_{ном}$	$5{,}0I_{ном}$
	1000/5	0,5; Д	150	$1{,}3I_{ном}$	$2{,}6I_{ном}$
		1	75	$2{,}5I_{ном}$	$5I_{ном}$
	1500/5	0,5; Д	150	$1{,}3I_{ном}$	$2{,}6I_{ном}$
		3	75	$2{,}5I_{ном}$	$5I_{ном}$

Тип трансформатора тока	Коэффициент трансформации	Класс сердечника	Число витков в блоке	Первичный ток надежной работы	
				при $R_н = 20$ Ом	при $R_н = 10$ Ом
ТПФ-10	$Aw_1{}^{**} = 700 \div 900$	Д	100	$2I_{ном}$	$4I_{ном}$
		0,5; 1; 3	50	$4I_{ном}$	$8I_{ном}$
	$Aw_1{}^{**} = 450 \div 600$	0,5; 1; 3; Д	50	$4I_{ном}$	$8I_{ном}$
ТПШФ-10	2000/5 и	Д; 0,5	200	$I_{ном}$	$2I_{ном}$
	3000/5	3	50	$4I_{ном}$	$8I_{ном}$

* При номинальных токах присоединения, меньших 300 А (или 600 А), ответвление от трансформатора берется максимальным.
** Aw_1 — МДС первичной обмотки трансформатора блока.

номинальном напряжении выхода 24 В и 0,15 А при номинальном напряжении выхода 110 В.

На рис. XVII.60 приведены зависимости напряжения надежной работы блоков БПН-11 от сопротивления нагрузки.

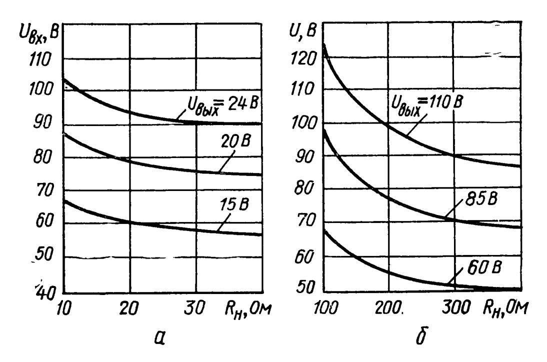


Рис. XVII.60. Зависимость напряжения надежной работы от сопротивления нагрузки для одного элемента:
а — блок типа БПН-11/2; *б* — блок типа БПН-11/1.

Блоки питания серии БП-1002

Принципиальные схемы блоков питания серии БП-1002 приведены на рис. XVII.61 и XVII.62. Блоки рассчитаны на мощность 800—1500 Вт в кратковременном режиме. Блок питания типа БПТ-1002 состоит из насыщающегося трансформатора тока с мостом из кремниевых выпрямителей на выходе. Для снижения амплитудных значений

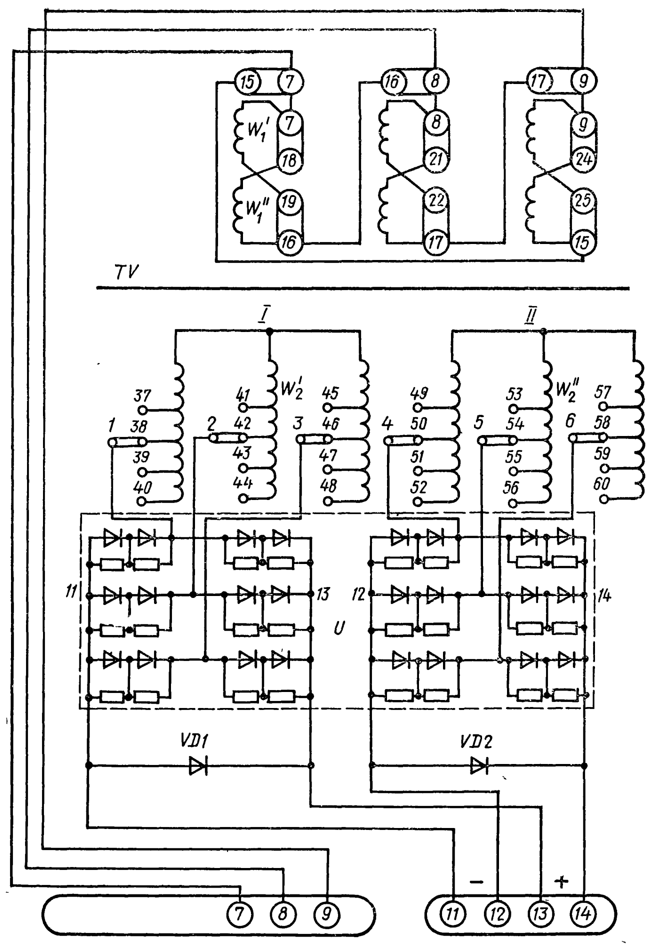


Рис. XVII.61. Принципиальная схема блока питания типа БПН-1002.

напряжения на выходе, а также для стабилизации его среднего значения параллельно вторичной обмотке насыщающегося трансформатора включаются емкость и дроссель, образующие с ветвью намагничивания трансформатора феррорезонансный контур. Блок питания типа БПН-1002 состоит из промежуточного трансформатора напряжения и двух трехфазных мостов из кремниевых выпрямителей на выходе.

Параллельно мостам для защиты кремниевых выпрямителей от коммутационных перенапряжений во вторичных цепях включены селеновые столбы, используемые в качестве нелинейных сопротивлений.

На первичной обмотке трансформатора блока БПТ-1002 предусмотрены ответвления, предназначенные для подключения к трансформаторам тока различных типов в соответствии с табл. XVII.27.

Для первичной обмотки трансформатора блока питания типа БПТ-1002, включаемого на трансформаторы тока, не указанные в табл. XVII.27, число витков выбирают следующим образом. Вольт-амперная характеристика трансформатора тока (снятая эксперимен-

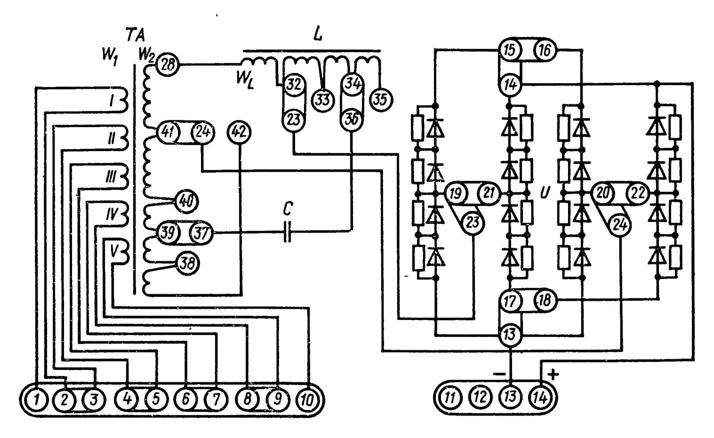


Рис. XVII.62. Принципиальная схема блока питания типа БПТ-1002 (положение перемычек на схеме показано для $U_{ном.\ вых} = 110$ В и номинального значения емкости 100 мкФ).

тально, взятая из паспортных данных или построенная расчетным путем) сравнивается с семейством вольт-амперных характеристик ненагруженного блока БПТ-1002, снятых со стороны входа (рис. XVII.63).

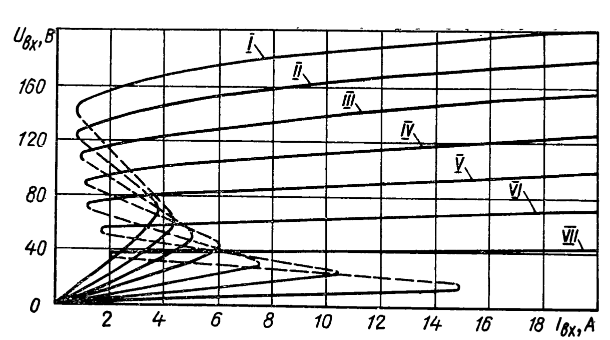


Рис. XVII.63. Входные вольт-амперные характеристики ненагруженного блока питания типа БПТ-1002:
I — $w_1 = 200$ витков; *II* — $w_1 = 175$ витков; *III* — $w_1 = 150$ витков; *IV* — $w_1 = 125$ витков; *V* — $w_1 = 100$ витков; *VI* — $w_1 = 75$ витков; *VII* — $w_1 = 50$ витков.

Число витков первичной обмотки трансформатора блока выбирается таким образом, чтобы вольт-амперная характеристика трансформатора тока проходила выше вольт-амперной характеристики блока при токах более 5 А.

Для получения на выходе блока напряжения 110 или 220 В выпрямленного тока необходимо выполнить переключения на плате дросселя, используя при этом соответствующие ответвления на вторичной обмотке трансформатора и на обмотке дросселя (рис. XVII.64).

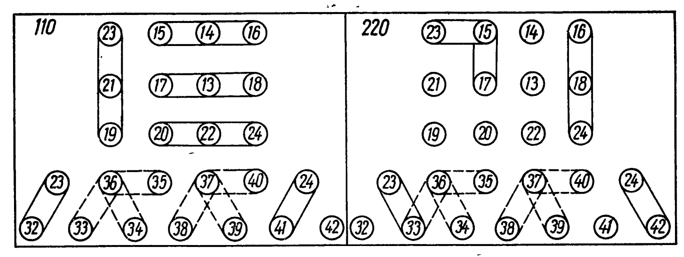


Рис. XVII.64. Положение перемычек на плате дросселя блока питания типа БПТ-1002 для разных номинальных выходных напряжений.

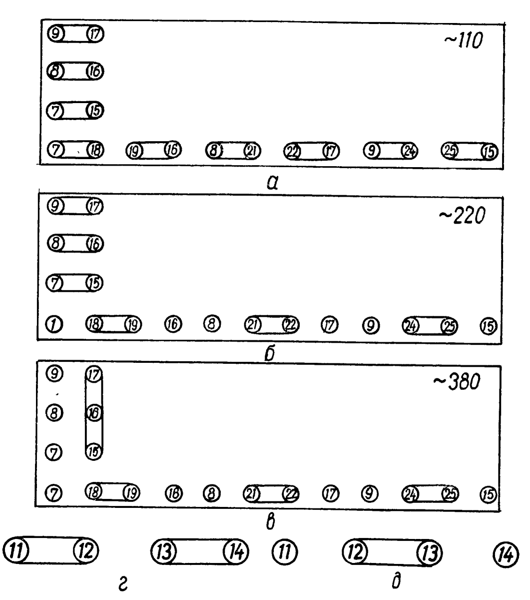


Рис. XVII.65. Положение перемычек на плате трансформатора блока типа БПН-1002 для номинального напряжения входа 110 В (*а*); 220 В (*б*); 380 В (*в*) и положение перемычек на выходе блока для номинального напряжения выхода 110 В (*г*); 220 В (*д*).

Блоки питания БПН-1002 включаются на измерительные трансформаторы напряжения или в сеть собственных нужд.

Для включения блока на номинальные напряжения 110, 220 или 380 В предусмотрена возможность параллельного и последовательного соединения секций первичных обмоток каждой фазы трансформатора

и включения их в звезду или треугольник (рис. XVII.65). Блок питания типа БПН-1002 можно включать также на напряжения 100 и 127 В Для поддержания постоянного уровня выходного напряжения во вторичных обмотках предусмотрены ответвления, выведенные на плату трансформатора к переключателям *1—6* (рис. XVII.66).

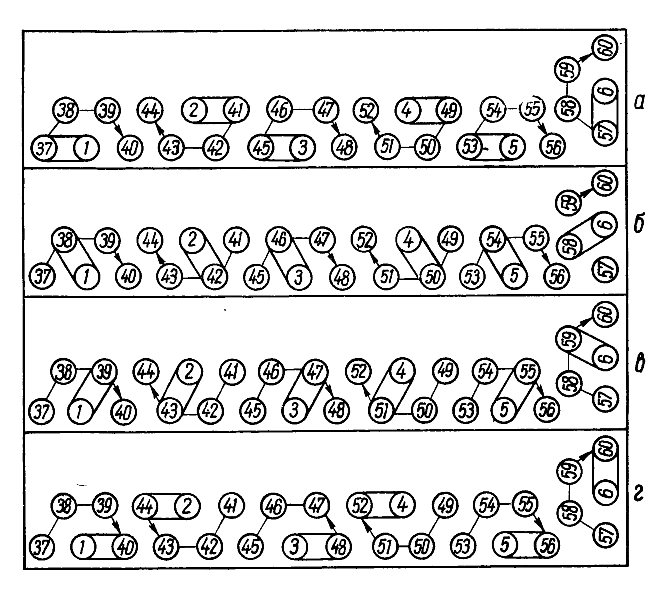


Рис. XVII.66. Положение переключателей вторичных витков трансформатора блока типа БПН-1002 при включении на различные входные напряжения:
а — 127 В; *б* — 110 В; *в* — 100 В; *г* — менее 100 В.

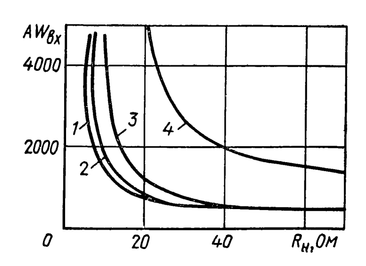


Рис. XVII.67. Зависимость МДС надежной работы блока типа БПТ-1002 от сопротивления нагрузки при постоянном выходном напряжении (напряжение выхода 110 В; при 220 В сопротивление увеличивается в 4 раза):
1 — $U_{вых} = 0{,}73\,U_{ном.\,вых}$; *2* — $U_{вых} = 0{,}8\,U_{ном.\,вых}$; *3* — $U_{вых} = 0{,}9\,U_{ном.\,вых}$; *4* — $U_{вых} = U_{ном.\,вых}$.

В зависимости от соединения мостов (последовательного или параллельного) на выходе блока можно получить выпрямленное напряжение 110 или 220 В.

Ток наступления феррорезонанса измеряют при плавном увеличении тока в первичной обмотке и отсутствии нагрузки на выходе. Феррорезонанс в блоках типа БПТ-1002 наступает при числе ампер-витков первичной обмотки трансформатора 840 ± 100. Момент наступления феррорезонанса определяется по резкому броску выходного напряжения блока питания. Для регулирования тока начала феррорезонанса

во вторичной обмотке насыщающегося трансформатора и обмотке дросселя предусмотрены ответвления. Перемычки *37—38*; *37—39*; *37—40*; *36—33*; *36—34*; *36—35* (см. рис. XVII.64) устанавливаются на заводе и служат для регулировки тока феррорезонанса.

Зависимость МДС надежной работы блока типа БПТ-1002 от сопротивления нагрузки при постоянном выходном напряжении приведена на рис. XVII.67.

Значения выходного напряжения при протекании тока 10 А по всем секциям первичной обмотки трансформатора блока БПТ-1002 приведены в табл. XVII.28.

Блок питания типа БПТ-1002 выдерживает в течение 5 с проте-

Таблица XVII.28. **Выходное напряжение блока типа БПТ-1002**

Номинальное напряжение выхода, В	Сопротивление нагрузки, Ом	Выходное напряжение, В
110	∞	$\leqslant 130$
	10	$\geqslant 90$
220	∞	$\leqslant 260$
	40	$\geqslant 180$

Таблица XVII.29. **Технические характеристики блоков питания типа БПН-1002**

Показатель	Входное напряжение, В			
	95	100	110	127
Напряжение питания, В				
110% $U_{вх}$	104	110	121	140
85% $U_{вх}$	80	85	93,5	108
Число витков вторичных обмоток	115	105	95	83
Положение переключателей на плате трансформатора (рис. XVII.66)	*г*	*в*	*б*	*а*
Выходное напряжение, В				
$U_{ном.вых} = 110$ В, $R_{нагр} = \infty$	$\leqslant 140$			
$U_{ном.вых} = 110$ В, $R_{нагр} = 5$ Ом	$\geqslant 80$			
$U_{ном.вых} = 110$ В, $R_{нагр} = 10$ Ом	$\geqslant 86$			
$U_{ном.вых} = 220$ В, $R_{нагр} = \infty$	$\leqslant 280$			
$U_{ном.вых} = 220$ В, $R_{нагр} = 20$ Ом	$\geqslant 160$			
$U_{ном.вых} = 220$ В, $R_{нагр} = 40$ Ом	$\geqslant 172$			

кание через всю первичную обмотку трансформатора тока 50 А при нагрузке 10 Ом для номинального напряжения выхода 110 В и при нагрузке 40 Ом — для номинального напряжения выхода 220 В. Блок питания в длительном режиме работы при отсутствии нагрузки выдерживает протекание по первичной обмотке трансформатора токов, не превышающих токов наступления феррорезонанса, и после наступления феррорезонанса — 9,5 А при полном числе витков первичной обмотки трансформатора блока. Длительно допустимый ток нагрузки блока составляет 7 А для номинального напряжения выхода 110 В и 3,5 А — для номинального напряжения выхода 220 В.

Значения выходного напряжения блока типа БПН-1002 при питании симметричным трехфазным напряжением приведены в табл. XVII. 29. Зависимость выходного напряжения блока типа БПН-1002 без нагрузки от напряжения питания приведена на рис. XVII.68.

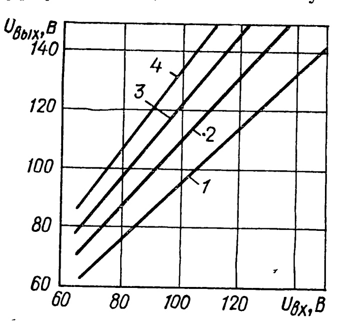


Рис. XVII.68. Зависимость выходного напряжения блока типа БПН-1002 без нагрузки от напряжения питания:

1 — $w_2 = 83$ витка; *2* — $w_2 = 95$ витков; *3* — $w_2 = 105$ витков; *4* — $w_2 = 115$ витков.

Потребление блока типа БПН-1002 при номинальном входном напряжении составляет не более 25 В · А на фазу без нагрузки. В длительном режиме работы блок питания допускает включение на напряжение, равное 110 % номинального входного напряжения, при этом ток нагрузки не должен превышать 6,4 А для номинального напряжения выхода 110 В и 3,2 А для номинального напряжения выхода 220 В.

Блоки питания и заряда типов БПЗ-401 и БПЗ-402

Блоки типов БПЗ-401 и БПЗ-402 предназначены для заряда конденсаторов, используемых для работы электромагнитов приводов или реле (режим блока заряда) или для питания выпрямленным током оперативных цепей защиты (режим блока питания).

Принципиальные схемы блоков показаны на рис. XVII.69 и XVII.70. Основные технические характеристики блоков приведены в табл. XVII.30. Время заряда конденсаторов определяется в блоке БПЗ-401 при номинальном напряжении и в блоке БПЗ-402 при первичном токе, равном трехкратной уставке тока наступления феррорезонанса. Потребляемая мощность определяется при номинальном напряжении для блока БПЗ-401 и первичном токе, равном $1{,}25I_{ном}$, для блока БПЗ-402.

Блок БПЗ-401 длительно выдерживает при отсутствии нагрузки напряжение, равное 1,1 $U_{ном}$. Блок БПЗ-402 длительно выдерживает: при отсутствии нагрузки в режиме феррорезонанса — 550 А · *w*, до наступления феррорезонанса — токи, не превышающие токов наступления феррорезонанса; при длительно допустимом сопротивлении нагрузки (см. табл. XVII.30) — 550 А · *w*.

Сопротивление изоляции токоведущих частей по отношению к корпусу должно быть не менее 10 МОм.

Таблица XVII.30. **Основные технические характеристики блоков типов БПЗ-401 и БПЗ-402**

Параметры	БПЗ-401	БПЗ-402
Уставки по току наступления феррорезонанса, А	—	4,65; 6,0; 8,5; 9,3; 12; 17
Номинальное первичное напряжение, В	100; 110; 127; 220	—
Номинальное выпрямленное напряжение, В	110; 220; 400±5 %	110; 220; 400±5 %
Время заряда конденсаторов емкостью 200 мкФ до напряжения, равного 0,8 установившегося значения, мс, не более	70	70
Длительно допустимое сопротивление нагрузки (режим блока питания), Ом		
$U_{\text{ном. выпр}} = 110$ В	150	130
$U_{\text{ном. выпр}} = 220$ В	600	520
Минимально допустимое сопротивление нагрузки, Ом		
$U_{\text{ном. выпр}} = 110$ В	50	50
$U_{\text{ном. выпр}} = 220$ В	200	200
Пятисекундный первичный ток термической устойчивости при минимально допустимом сопротивлении нагрузки, А	—	75
Максимальная емкость заряжаемых конденсаторов, мкФ	2000	2000

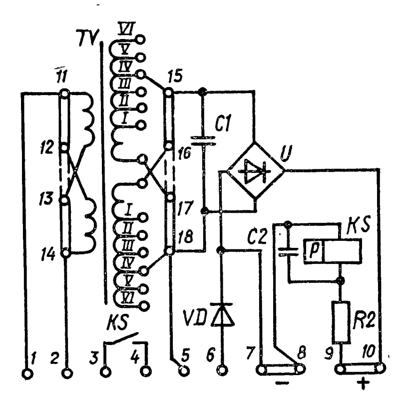


Рис. XVII.69. Принципиальная схема блока типа БПЗ-401.

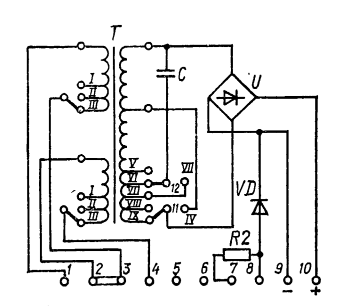


Рис. XVII.70. Принципиальная схема блока типа БПЗ-402.

Таблица XVII.31. **Значения выходного напряжения блока типа БПЗ-401**

Режим работы блока	Первичное напряжение, В	Выходное напряжение, В, при сопротивлении нагрузки, Ом				Напряжение заряда конденсатора емкостью 200 мкФ, В	Положение перемычек на плате трансформатора (рис. XVII.71)	Зажимы блока для подключения нагрузки
		Уставка 110 В		Уставка 220 В				
		∞	50	∞	200			
Режим питания	100 110 127 220 220	⩽130 —	⩾95 —	— ⩽260	— ⩾190		*а* *б* *в* *г* *з*	*7—10*
Режим заряда	100 110 127 220					400±20	*ж* *е* *д* *з*	*6—10*

При проверке блока БПЗ-401 выполняются следующие работы.

1. Проверяется выпрямленное напряжение в режимах блока питания и блока заряда. Условия проверки и значения выпрямленного напряжения должны соответствовать табл. XVII.31.

2. Производится проверка реле *KS*: напряжение срабатывания реле должно быть не выше 70 % номинального первичного напряжения; коэффициент возврата реле должен быть не менее 0,25; зазор между контактами реле должен быть не менее 0,4 мм. Проверка реле производится в полной схеме при подаче напряжения на вход блока БПЗ-401.

При проверке блока типа БПЗ-402 измеряются токи наступления феррорезонанса, выпрямленные напряжения и напряжение заряда конденсаторов.

При плавном увеличении тока в первичной обмотке и отсутствии нагрузки значение тока наступления феррорезонанса должно соответствовать приведенному в табл. XVII.32. Момент наступления феррорезонанса определяется по резкому броску выходного напряжения. Если значение тока наступления феррорезонанса не соответствует данным табл. XVII.32, следует переключить перемычку *12* на плате блока (рис. XVII.72) в положение *12 — V* или *12—VI*.

Таблица XVII.32. **Значения тока наступления феррорезонанса блоков типа БПЗ-402**

Положение перемычек на плате трансформатора блока (рис. XVII.72)	Число витков первичной обмотки	Ток наступления феррорезонанса, А
а	220	4,65±0,5
б	170	6±0,6
в	120	3,5±0,5

Примечание. Зажимы со стороны питания *1—4* при трех положениях перемычек (*а—b*).

Условия проверки и значения выпрямленного напряжения должны соответствовать данным табл. XVII.33.

Проверка напряжения заряда конденсаторов производится при подключенном к зажимам *8—10* конденсаторе емкостью 200 мкФ и положении перемычек на плате трансформатора по рис. XVII.72,*г*. При первичном токе 14 А напряжение заряда должно составлять 400 ± 20 В. Для получения указанного значения напряжения перемычка *11*

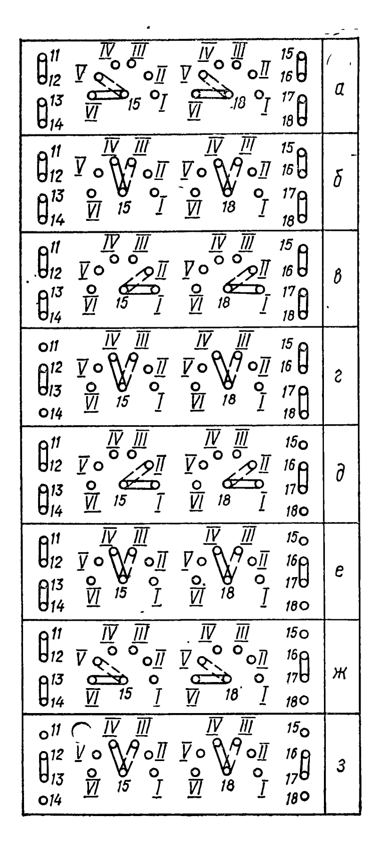


Рис. XVII.71. Положение перемычек на плате трансформатора блока типа БПЗ-401.

Рис. XVII.72. Положение перемычек на плате трансформатора блока типа БПЗ-402.

Таблица XVII.33. **Значения выходного напряжения блока типа БПЗ-402**

Номинальное выпрямленное напряжение, В	Первичный ток, А	Положение перемычек на плате трансформатора блока (рис. XVII.72)	Выходное напряжение, В, при сопротивлении нагрузки, Ом		
			∞	50	200
110	5,8	*г*	⩽130	⩾95	—
220	5,8	*д*	⩽260	—	⩾190

(см. рис. XVII.72) может устанавливаться в положения *IX*, *VIII* или *VII*.

На рис. XVII.73 приведены входные вольт-амперные характеристики блока БПЗ-402 при отсутствии нагрузки.

Необходимая емкость конденсатора в связи со сложностью теоретических расчетов определяется опытным путем. Для ручных и пружинных приводов выключателей, отделителей, короткозамыкателей современных конструкций хорошие результаты дает применение электромагнитов с легким сердечником обычной конструкции, обмотки которых имеют около 10 тысяч витков провода диаметром 0,27—0,31 мм. При правильной регулировке привода конденсаторы емкостью 40 мкФ обеспечивают достаточно надежную работу таких электромагнитов. По результатам испытаний других типов приводов следует считать достаточной для надежной работы приводов типов ПС-10, ПЭ-2, ПЭ-11 с электромагнитами на номинальное напряжение 220 В емкость 80 мкФ, для приводов типов ПЭ-3, ПС-30 с электромагнитами на номинальное напряжение 110 В — емкость 200 мкФ.

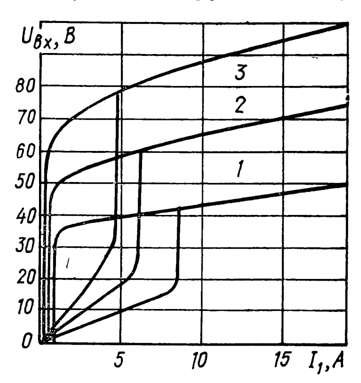


Рис. XVII.73. Входные вольт-амперные характеристики блока типа БПЗ-402 (без нагрузки на выходе):

1 — $w_1 = 120$ витков; *2* — $w_1 = 170$ витков; *3* — $w_1 = 220$ витков.

Для электромагнитов, работающих от предварительно заряженных конденсаторов, определяют следующие параметры: а) емкость срабатывания (минимальную емкость конденсатора, заряженного до 65—70 % номинального напряжения, обеспечивающую срабатывание электромагнита без учета времени его работы, при отключенном источнике зарядного напряжения); б) напряжение срабатывания.

Емкость срабатывания электромагнита, работающего от предварительно заряженного конденсатора, определяют по схеме, приведенной на рис. XVII.74. Автотрансформатором *T* устанавливают на входе блока БПЗ-401 напряжение, равное 65—70 % номинального. На магазине емкостей *C* набирают требующуюся емкость и заряжают ее от блока БПЗ-401. Затем снимают питание с блока БПЗ-401 и магазин емкостей *C* замыкают на проверяемый электромагнит (*YAV*). Подбором емкостей и повторными испытаниями определяют минимальную емкость, обеспечивающую срабатывание электромагнита и отключение выключателя. Затем вместо магазина емкостей в схему включают конденсаторы, работающие на электромагнит. Изменяя напряжение на входе

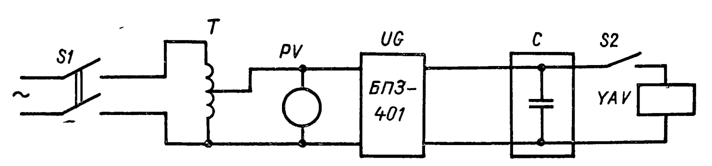


Рис. XVII.74. Схема определения емкости срабатывания электромагнита отключения.

блока БПЗ-401, определяют минимальное напряжение, обеспечивающее отключение выключателя. Для этого устанавливают напряжение, заряжают конденсаторы, затем снимают питание с блока БПЗ-401 и замыкают конденсаторы на электромагнит.

Для электромагнитов, работающих от предварительно заряженных конденсаторов, нормы не установлены. На основании опыта эксплуатации рекомендуется для обеспечения надежного срабатывания электромагнита выполнять следующие условия: а) емкость конденсатора, от которого работает электромагнит, должна быть в 1,5—2 раза больше емкости срабатывания; б) напряжение срабатывания электромагнита при отключенном источнике зарядного напряжения должно составлять примерно 50 % номинального.

Для совместной работы с блоками БПЗ-400 используются блоки конденсаторов серии БК-400 (БК-401 емкостью 40 мкФ, БК-402 — 80 мкФ, БК-403 — 200 мкФ). Указанные блоки конденсаторов имеют три зажима для использования в схемах с диодным и контактным разделением цепей; в последнем случае один из зажимов блока не используется.

Проверка схем релейной защиты

Проверка взаимодействия реле и других элементов схемы защиты

Проверка взаимодействия элементов схемы позволяет убедиться в том, что монтаж оперативных цепей защиты выполнен правильно, без отступлений от проекта и требований ПУЭ. Взаимодействие при новом включении проверяют при подаче в оперативные цепи напряжения, равного 100 и 80 % номинального. Значение поданного напряжения следует периодически контролировать и при необходимости корректировать.

Взаимодействие реле в схеме проверяют при замыкании и размыкании вручную контактов реле, наблюдении за работой схемы и сопоставлении фактической последовательности работы реле с последовательностью, предусмотренной проектом. В тех случаях, когда правильная последовательность действий реле определяется их собственным временем, отдельные режимы имитируются подачей на реле тока и напряжения необходимых значений. В сложных случаях перед проверкой целесообразно составлять подробную ее программу.

При проверке взаимодействия реле и других элементов схемы контролируют: а) последовательность работы элементов схемы от пусковых до выходных реле; б) выдержку времени при действии на отключение или включение выключателя; в) взаимодействие реле при имитации всех возможных видов короткого замыкания и перехода одного вида короткого замыкания в другой; г) действие блокировок; д) переключения в цепях тока и напряжения; е) работу схемы при всех возможных положениях рубильников, переключателей и других коммутационных аппаратов, изменяющих схему, выдержку времени и т. п.; ж) отсутствие обходных цепей в схеме защиты на панели при имитации перегорания предохранителей; з) надежность одновременного отключения или включения нескольких выключателей, если это предусмотрено проектом.

При применении переменного оперативного тока проверка взаимодействия проводится в зависимости от источника оперативного тока. Для блоков питания имитируются все возможные случаи питания их от тока и напряжения. При использовании зарядного устройства про-

верка осуществляется при подаче на вход зарядного устройства напряжения, равного 100 и 80 % номинального.

В схемах защит с короткозамыкателями и отделителями правильное взаимодействие короткозамыкателя, отделителя и АПВ питающей линии достигается введением необходимых выдержек времени. Отключение отделителя только после включения короткозамыкателя и во время бестоковой паузы АПВ обеспечивается выдержкой времени, перекрывающей (с двойным запасом) запаздывание ножа короткозамыкателя относительно момента замыкания его блок-контактов, и контролем (с помощью токового реле) наличия тока в цепи короткозамыкателя. Выдержка времени АПВ питающей линии должна быть отстроена от полного времени отключения отделителя.

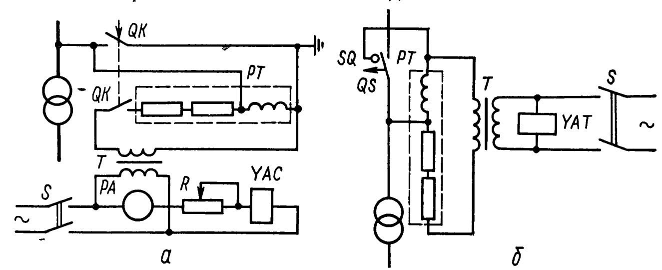


Рис. XVII.75. Схемы измерения времени запаздывания ножа короткозамыкателя (*а*) и полного времени отключения отделителя (*б*).

Схемы измерения времени запаздывания ножа короткозамыкателя и полного времени отключения отделителя приведены на рис. XVII.75. В этих схемах электросекундомер включен через разделительный трансформатор. При измерении полного времени отключения отделителя остановка секундомера производится временно устанавливаемым контактом *SQ*, который замыкается ножом отделителя в отключенном положении ножа.

Проверка защит первичным и вторичным током от постороннего источника

Проверка защиты в полной схеме током от постороннего источника является окончательной, после нее никакие работы в цепях защиты не допускаются.

Методика проверки токовых цепей и цепей напряжения приведена в гл. XI.

Перед проверкой защиты первичным током восстанавливают полностью всю схему защиты и включают выключатели, на которые действует защита. От нагрузочного устройства подают ток в первичные обмотки трансформаторов тока, питающих защиту; его увеличивают до момента срабатывания защиты на отключение выключателя. В зависимости от схемы токовых цепей защиты первичный ток подают поочередно на каждый или на два-три последовательно включенных трансформатора тока. Если мощность нагрузочного устройства недостаточна для получения тока срабатывания, защита может быть испытана вторичным током согласно схеме, приведенной на рис. XVII.76. Такая схема позволяет учесть погрешность трансформатора тока за счет намагничивания его сердечника при протекании тока срабатывания.

Для определения первичного тока срабатывания защиты при использовании описанного выше метода суммарный ток, протекающий от нагрузочного устройства при срабатывании, следует умножить на коэффициент трансформации трансформатора тока.

Правильность сборки схемы токовых цепей дифференциальных защит может быть проверена путем пропускания тока, равного 20—40 % номинального, от нагрузочного устройства по первичным цепям двух фаз. При этом измеряют токи в цепях циркуляции и в цепях реле дифференциальной защиты при проведении опыта для всех трех пар фаз (*AB*, *BC*, *CA*).

Для увеличения токов у генераторов и двигателей обмотки статора следует шунтировать. Если обмотки статора не шунтируют, необходимо закоротить обмотку ротора во избежание появления на ее выводах высокого напряжения при проведении опыта и, чтобы предотвратить перегрев ротора, ограничить длительность отсчета показаний приборов.

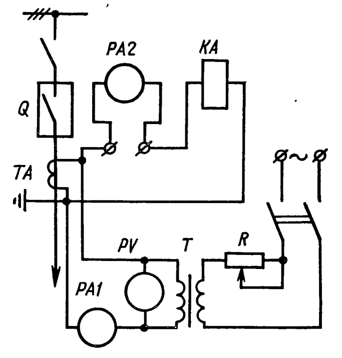


Рис. XVII.76. Схема проверки срабатывания реле защиты вторичным током.

При достаточно мощном источнике низкого напряжения ток I, протекающий по первичным цепям, можно определить по следующим формулам:

для генераторов и двигателей

$$I = \frac{U_{н.\,н} I_{ном}}{X_2 U_{ном}} \sqrt{3};$$

для линий

$$I = \frac{U_{н.\,н}}{2 Z_{л.\,о} l},$$

где $U_{н.н}$ — напряжение вспомогательного источника (обычно трансформатора собственных нужд); X_2—реактивное сопротивление обратной последовательности в относительных единицах; $Z_{л.\,о}$ — полное сопротивление 1 км линии, Ом; l — длина линии, км.

Такую же проверку можно осуществить при одновременной подаче трех фаз, если это возможно. При этом средние значения тока находят из следующих выражений:

для генераторов и двигателей

$$I = \frac{U_{н.\,н} I_{ном}}{X_2 U_{ном}};$$

для линий

$$I = \frac{U_{н.\,н}}{\sqrt{3} Z_{л.\,о} l},$$

где $U_{н.\,н}$ — подводимое линейное напряжение.

Для проверки правильности сборки токовых цепей дифференциальных защит силовых трансформаторов первичным током трехфазную закорачивающую перемычку устанавливают со стороны низкого напряжения, а питание подают со стороны высокого напряжения. При этом обязательна одновременная подача напряжения трех фаз.

Значение тока, протекающего по обмоткам трансформатора со стороны питания, определяется как

$$I = \frac{U_{н.\,н} I_{ном}}{e_к U_{ном}},$$

где $I_{ном}$ и $U_{ном}$ — номинальные ток и напряжение той обмотки трансформатора, в которую подается испытательное напряжение $U_{н.\,н}$; $e_к$ — напряжение короткого замыкания трансформатора в относительных единицах.

После установления тока в обмотках трансформатора и цепях дифференциальной защиты проверяют правильность сборки схемы при измерении тока в плечах и реле, а также при снятии векторной диаграммы токов.

Защита синхронных генераторов может быть проверена при пониженной скорости вращения.

Возбуждение при пониженной скорости может быть осуществлено либо от постороннего источника постоянного тока, либо от собственного возбудителя.

Закорачивающую перемычку устанавливают вне зоны дифференциальной защиты.

При испытании необходимо принять меры против отключения выключателя, расположенного между перемычкой и генератором, и против включения противопожарного устройства. Ток короткого замыкания должен быть достаточным для проведения измерений. При проверке защит снимают векторные диаграммы, определяют значение тока в плечах защиты, тока небаланса и т. п.

Увеличивая ток короткого замыкания, доводят максимальную токовую защиту до срабатывания и выполняют при этом необходимые измерения. Аналогично проверяют защиту от перегрузки и действие всех токовых реле блокировок.

Затем токовые цепи с одной стороны продольной дифференциальной защиты отключают и закорачивают, защиту проверяют на срабатывание; аналогично поступают с токовыми цепями другой стороны.

Проверка защит рабочим током (током нагрузки)

При проверке защит рабочим током измеряются значения токов и напряжений, подводимых к реле, снимаются векторные диаграммы этих токов и напряжений, проводятся наблюдения за поведением реле при имитации различных режимов и повреждений (переключениями в токовых цепях и цепях напряжения), измеряются токи и напряжения небаланса, проверяется отстройка защит от переходных рабочих режимов (проверка отстройки дифференциальных защит и токовых отсечек от бросков тока намагничивания силовых трансформаторов и пусковых токов электродвигателей производится при пятикратном включении трансформатора или двигателя и наблюдении за поведением реле).

Выше при рассмотрении методики наладки различных типов реле и устройств приведены рекомендации по их проверке рабочим током.

Глава XVIII

УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

В настоящее время в электроустановках применяют следующие автоматические устройства: регулирования возбуждения СМ (АРВ); регулирования напряжения трансформаторов (АРКТ); регулирования мощности конденсаторных установок; повторного включения (АПВ) линий, шин и др.; включения резервного питания или оборудования (АВР); включения СГ и СК на параллельную работу; регулирования частоты и активной мощности; предотвращения нарушений устойчивости; прекращения асинхронного режима; ограничения снижения и повышения частоты; ограничения снижения и повышения напряжения; предотвращения перегрузки оборудования.

Ниже рассмотрены методы испытаний и наладки некоторых из этих устройств, нашедших применение в промышленной энергетике.

Автоматические регуляторы возбуждения синхронных машин (АРВ)

Основным назначением АРВ является повышение устойчивости работы синхронных машин, в первую очередь параллельной работы генераторов при нарушении нормального режима. Кроме того, АРВ обеспечивают поддержание заданного напряжения или выдачу в систему требуемой реактивной мощности, а также необходимое распределение реактивной нагрузки между параллельно работающими СГ.

В эксплуатации находятся АРВ следующих основных видов.

1. Устройства быстродействующей форсировки возбуждения (релейная форсировка).
2. Электромеханические АРВ.
3. Устройства компаундирования с электромагнитным корректором напряжения.
4. Автоматические регуляторы (АР) ионных систем возбуждения.
5. АР полупроводниковых высокочастотных возбудителей.
6. АР тиристорных возбудителей.
7. АР диодных бесщеточных возбудителей.

Согласно ПУЭ, должна быть обеспечена высокая надежность питания АРВ от трансформаторов напряжения и соответствующих цепей.

При подключении к трансформаторам напряжения, имеющим предохранители на первичной стороне, АРВ и другие устройства системы возбуждения, потеря питания которых может привести к перегрузке или недопустимому снижению возбуждения машины, должны присоединяться к вторичным выводам трансформаторов без предохранителей и автоматических выключателей. Устройство релейной форсировки должно, кроме того, выполняться так, чтобы исключалась воз-

можность его ложной работы при перегорании одного из предохранителей с первичной стороны трансформаторов напряжения.

При подключении к трансформаторам напряжения, не имеющим предохранителей на первичной стороне, АРВ и другие устройства системы возбуждения должны присоединяться к их вторичным выводам через автоматические выключатели (АВ), причем вспомогательные контакты АВ должны быть использованы в схеме, обеспечивающей исключение перегрузки или недопустимого снижения возбуждения машины в случае отключения автомата.

К трансформаторам напряжения, к которым подключены АРВ и другие устройства системы возбуждения, как правило, не должны

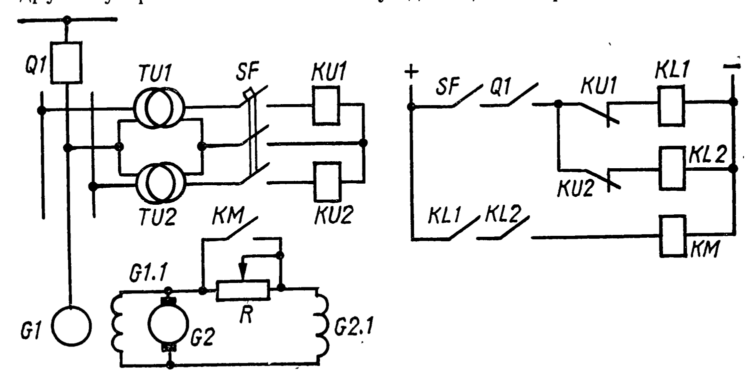


Рис. XVIII. 1. Типовая схема устройства релейной форсировки возбуждения.

присоединяться не связанные с цепями возбуждения реле, приборы и пр. (В отдельных случаях допускается их присоединение через отдельные автоматические выключатели или предохранители.)

Устройства АРВ должны обеспечивать устойчивое регулирование в пределах от наименьшего до наибольшего допустимых значений тока возбуждения. Для СГ, работающих в блоке с трансформатором, предусматривается установка устройства токовой компенсации потери напряжения в трансформаторе.

При необходимости АРВ может быть дополнено релейным устройством быстродействующего развозбуждения.

Устройство быстродействующей форсировки возбуждения (УБВ)

УБВ является простым устройством, которое в аварийных условиях, сопровождающихся глубоким понижением напряжения, производит быструю форсировку возбуждения СМ до наибольшего допустимого (потолочного) значения. В некоторых полупроводниковых системах возбуждения СМ устройства УБВ являются составной частью АРВ. Однако во многих случаях в дополнение к АРВ устанавливают УБВ, выполненное, как правило, на базе электромеханических реле (релейная форсировка).

Согласно ПУЭ, для СГ и СК мощностью менее 2500 кВт, работающих в системах средней и большой мощности, допускается вместо АРВ устанавливать только устройства релейной форсировки возбуждения.

На рис. XVIII.1 приведена типовая схема релейной форсировки возбуждения. На схеме обозначены: *G1* — генератор; *G2* — возбудитель; *G1.1*, *G2.1* — обмотки возбуждения генератора и возбудителя; *R* — реостат возбуждения; *Q1* — выключатель СГ; *TU1*, *TU2* — трансформаторы напряжения; *SF* — автоматический выключатель; *KU1*, *KU2* — реле минимального напряжения (РН-54); *KL1*, *KL2* — промежуточные реле; *KM* — контактор форсировки; *Q1* — вспомогательный контакт выключателя. При таком выполнении схемы релейной форсировки соблюдаются требования ПУЭ, приведенные выше.

Уставка реле напряжения релейной форсировки определяется как большее из двух значений, определенных по формулам

$$U_{ср} = \frac{U_{ном}}{k_з k_в k_{т.\,н}} \text{ [В]};$$

$$U_{ср} = \frac{0{,}85 U_{ном}}{k_{т.\,н}} \text{ [В]},$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение СГ, В; $k_з$ — коэффициент запаса (1,1); $k_в$ — коэффициент возврата (1,05); $k_{т.\,н}$ — коэффициент трансформации ТН.

В объем наладочных работ по устройствам релейной форсировки входит: а) внешний осмотр; б) проверка схемы коммутации и маркировки; в) измерение сопротивления и испытание изоляции реле и проводок; г) проверка реле и контактора; д) настройка реле напряжения; е) опробование устройства при работе генератора вхолостую.

Электромеханические АРВ

Из находившихся широкое распространение в прошлом электромеханических регуляторов возбуждения до настоящего времени выпускаются отечественной промышленностью и применяются на небольших машинах переменного и постоянного тока только угольные. Принцип действия угольных АРВ заключается в том, что столбик, состоящий из угольных шайб, сжимается и разжимается под действием сердечника электромагнита, изменяя при этом свое сопротивление и тем самым ток в обмотке возбуждения (рис. XVIII.2).

В испытательно-наладочные работы по угольным автоматическим регуляторам возбуждения входят: а) проверка правильности выбора регулятора; б) внешний осмотр и проверка механической части регулятора; в) проверка схемы внутренних и внешних соединений регулятора; г) испытание изоляции регулятора и проводок; д) проверка электрических характеристик регулятора и вспомогательных элементов; е) испытание автоматического регулятора возбуждения на работающей электрической машине.

Проверка правильности выбора автоматического регулятора. Для генераторов постоянного тока с переменным или смешанным возбуждением наибольшее и наименьшее значения сопротивления угольного реостата регулятора определяются из выражений

$$R_{уг.\,макс} = \frac{U_{в.\,ном}}{I_{в.\,мин}} - R_{в.\,х} \text{ [Ом]}; \quad \text{(XVIII.1)}$$

$$R_{уг.\,мин} = \frac{U_{в.\,ном}}{I_{в.\,макс}} - R_{в.\,г} \text{ [Ом]}, \quad \text{(XVIII.2)}$$

где $U_{в. ном}$ — номинальное напряжение генератора, В; $I_{в. мин}$ и $I_{в. макс}$ — минимальный и максимальный токи возбуждения, соответствующие предельным режимам работы генератора при номинальном напряжении, А; $R_{в. х}$ и $R_{в. г}$ — сопротивление обмотки возбуждения, последовательно с которой включается угольный реостат регулятора, соответственно в холодном и горячем состоянии, Ом.

Максимальная мощность, рассеиваемая в угольном реостате,

$$P_{уг. макс} = \frac{U^2_{в. ном}}{4R_{в. х}} \text{ [Вт]}.$$

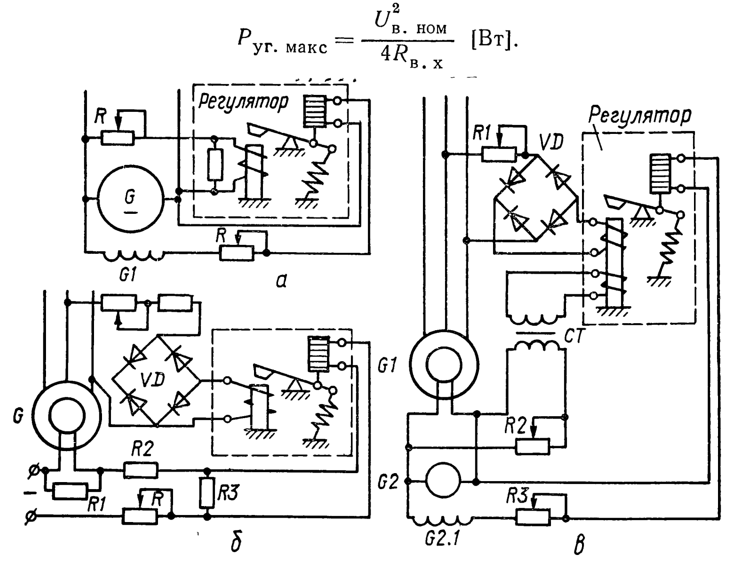


Рис. XVIII.2. Принципиальные схемы включения угольного регулятора возбуждения:

а — генератор постоянного тока с параллельным возбуждением; *б* — синхронный генератор небольшой мощности с независимым возбуждением; *в* — синхронный генератор с шунтовым возбудителем (стабилизирующий трансформатор *СТ* предназначен для повышения устойчивости процесса регулирования).

Для генераторов переменного тока, у которых напряжение на выводах возбудителя не остается постоянным по мере изменения нагрузки на генераторе, выражения (XVIII.1) и (XVIII.2) принимают вид

$$R_{уг. макс} = \frac{U_{в. мин}}{I_{в. мин}} - R_{в. х} \text{ [Ом]};$$

$$R_{уг. мин} = \frac{U_{в. макс}}{I_{в. макс}} - R_{в. г} \text{ [Ом]},$$

где $U_{в. мин}$ и $U_{в. макс}$ — соответственно минимальное и максимальное напряжение на выводах возбудителя, В.

В этом случае максимальная мощность определяется по формуле

$$P_{уг. макс} = \left(\frac{U_{в. макс}}{I_{в. макс}} - R_{в. х}\right) I^2_{в. макс} \text{ [Вт]}.$$

Внешний осмотр и проверка механической части регулятора. При осмотре регулятора следует обращать внимание на то, чтобы угольные столбики не имели повреждений и были приблизительно одинаковы по высоте (если их несколько), чтобы происходило равномерное сжатие отдельных угольных столбиков (при отпущенном якоре угольные диски должны быть значительно сжаты — с силой около 10 Н, а при

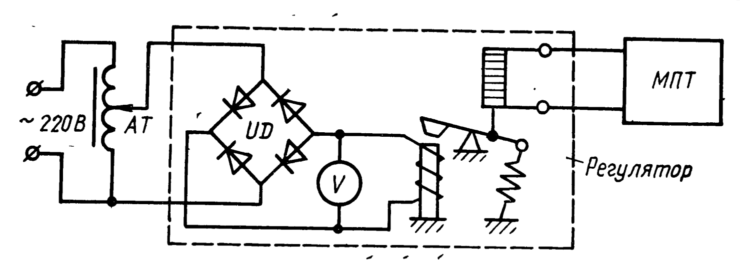


Рис. XVIII.3. Схема для определения нечувствительности регулятора.

подтянутом до отказа якоре — расслаблены), чтобы якорь не касался магнитопровода, воздушные зазоры были равны друг другу и в регуляторе не было посторонних предметов, пыли и грязи.

Проверка электрических характеристик регулятора и вспомогательных элементов производится обычно в таком объеме: а) измеряют омические сопротивления катушек электромагнита, обмоток стабилизирующего трансформатора, угольных столбиков, добавочных сопротивлений, установочного реостата; б) снимают вольт-амперные характеристики электромагнита, стабилизирующего трансформатора; в) проверяют полупроводниковые диоды; г) определяют нечувствительность регулятора; д) настраивают токовую стабилизацию.

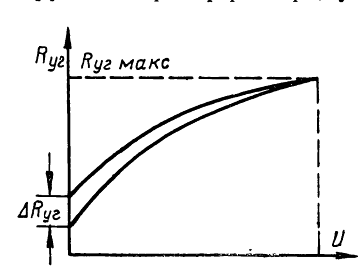


Рис. XVIII.4. Кривые зависимости сопротивления угольного столбика от напряжения на обмотке электромагнита.

Для проверки нечувствительности регулятора собирают схему, изображенную на рис. XVIII.3. С помощью регулировочного АТ плавно изменяют напряжение, подводимое к катушке электромагнита регулятора, от нуля до максимального, при котором угольный столбик полностью сжат, а затем обратно от максимального значения до нуля. При нескольких значениях этого напряжения с помощью моста постоянного тока (МПТ) измеряют сопротивление угольного столбика. По полученным данным строят кривые зависимости сопротивления угольного столбика $R_{уг}$ от напряжения на электромагните U (рис. XVIII.4). Максимальная абсолютная величина нечувствительности обозначена $\Delta R_{уг}$.

Относительная нечувствительность определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta R_{уг}}{R_{уг.\,ср}} 100 \ [\%], \qquad \text{(XVIII.3)}$$

где $R_{\text{уг. ср}} = \frac{R_{\text{уг. макс}} + R_{\text{уг. мин}}}{2}$ — среднее значение сопротивления угольного столбика.

Определенное по формуле (XVIII.3) значение относительной нечувствительности сравнивают с заводскими данными. При необходимости устраняют причины повышенных затираний подвижных деталей регулятора.

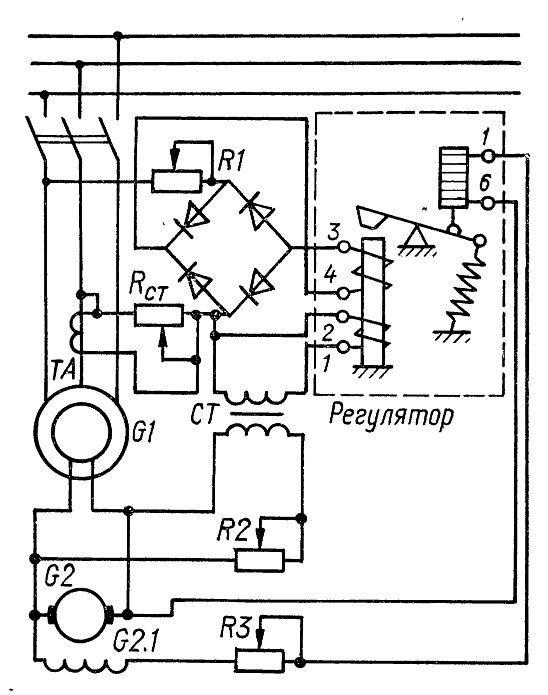


Рис. XVIII.5. Принципиальная схема включения угольного регулятора, снабженного токовой стабилизацией и стабилизирующим трансформатором.

До определения нечувствительности необходимо произвести «тренаж» регулятора, т. е. многократно повышать и понижать напряжение на катушке электромагнита, добиваясь полного отклонения его якоря.

Значение сопротивления токовой стабилизации, служащей для обеспечения устойчивого распределения реактивных нагрузок между параллельно работающими синхронными генераторами (рис. XVIII.5), определяется по формуле

$$R_{\text{ст}} = \frac{k_{\text{т. т}} U_{\text{ном}} k_{\text{ст}}}{k_{\text{т. н}} I_{\text{ном}} \sin \varphi \, 100} \text{ [Ом]}, \qquad \text{(XVIII.4)}$$

где $k_{\text{т. т}}$, $k_{\text{т. н}}$ — коэффициенты трансформации соответственно ТТ и ТН; $U_{\text{ном}}$ и $I_{\text{ном}}$ — соответственно номинальные напряжение и ток синхрон-

ного генератора; $k_{ст}$ — коэффициент статизма, принимаемый обычно равным 4—5 %; $\sin \varphi$ соответствует номинальному коэффициенту мощности $\cos \varphi_{ном}$ генератора.

Рассчитанное согласно выражению (XVIII.4) сопротивление устанавливается в цепи токовой стабилизации. Окончательная подгонка его производится при проверке коэффициента статизма всей системы автоматического регулирования.

Испытания автоматического регулятора возбуждения на работающем генераторе. В объем испытаний входят: а) проверка устойчивости работы автоматического регулятора и поведения его в переходном режиме; б) определение коэффициента статизма; в) определение пределов регулирования напряжения.

Устойчивость работы регулятора возбуждения предварительно проверяется при работе генератора вхолостую. Вывод из установившегося состояния осуществляется либо отключением и последующим включением регулятора, либо резким поворотом рукоятки установочного реостата. При возникновении незатухающих колебаний напряжения следует поменять местами выводы одной из обмоток стабилизирующего трансформатора или уменьшить добавочное сопротивление в его первичной цепи.

Работу автоматического регулятора принято считать удовлетворительной, если переход к новому установившемуся режиму происходит после нескольких колебаний (не более 10) стрелки вольтметра генератора.

Еще одним существенным критерием качества регулирования при переходном режиме является максимальное значение повышения напряжения. Уменьшить «бросок» напряжения можно при увеличении сопротивления в цепи стабилизирующего трансформатора или при его отключении.

Окончательная проверка работы генератора с автоматическим регулятором возбуждения в переходном режиме производится при сбросе нагрузки, близкой к номинальной. При этом опыте определяется также коэффициент статизма:

$$k_{ст} = \frac{U_х - U_1}{U_х} \frac{I_{ном}}{I_1} 100 \ [\%],$$

где U_1 и $U_х$ — напряжение генератора соответственно перед сбросом нагрузки и после него (при установившемся холостом ходе); I_1 — ток генератора перед сбросом нагрузки; $I_{ном}$ — номинальный ток генератора.

Пределы регулирования напряжения определяют при работе генератора вхолостую и перемещении рукоятки установочного реостата сначала в одно, а затем в другое крайнее положение. Обычно пределы регулирования равны $\pm$ 5 или $\pm$ 10 %.

Устройства компаундирования и электромагнитные корректоры напряжения

Многие синхронные генераторы, установленные на электростанциях, снабжены автоматическими регуляторами возбуждения, выполненными в виде устройств компаундирования (УК) с электромагнитным корректором (ЭМК). Эти устройства отличаются высокой надежностью благодаря отсутствию в них подвижных частей и контактов, быстродействием и чувствительностью.

Рис. XVIII.6. Принципиальная схема устройства ЭПА-305:

ТПК — трансформатор компаундирования; *ТП* — трансформатор промежуточный; *ТИ* — трансформатор измерительный; *ТК* — выходной трансформатор корректора.

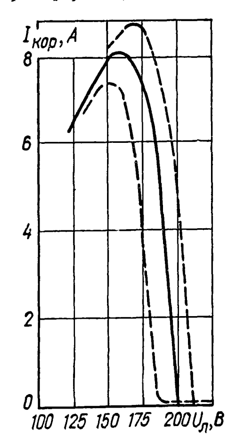


Рис. XVIII.7. Характеристики корректора БКН-305.

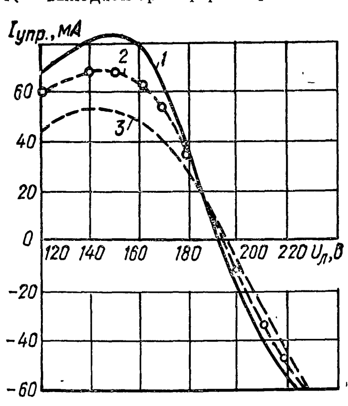


Рис. XVIII.8. Характеристики измерительного трансформатора устройства ЭПА-305:

1 — $R4 = 0$; *2* — $R4 = 50$ Ом; *3* — $R4 = 100$ Ом.

Технические характеристики и принципиальные схемы некоторых устройств компаундирования приведены ниже.

АРВ типа ЭПА-305 (рис. XVIII.6) включает устройство компаундирования, односистемный корректор напряжения типа БКН-305 и релейную форсировку (на схеме не показана).

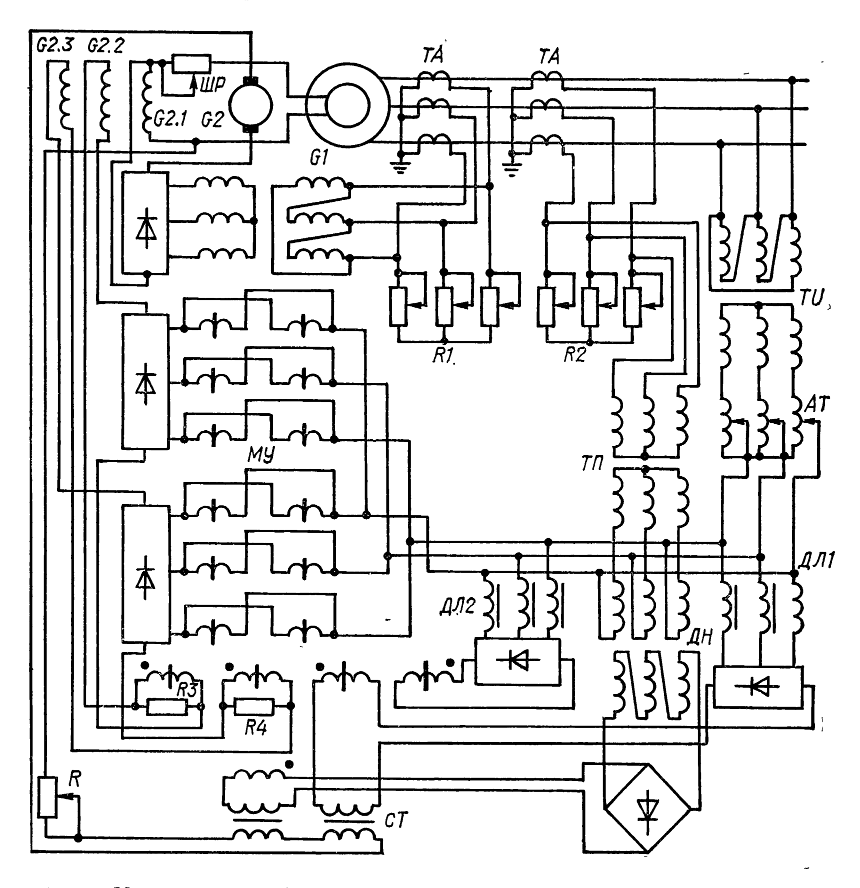


Рис. XVIII.9. Схема АРВ с двухсистемным корректором напряжения ЭПА-151:

ДЛ1, *ДЛ2* и *ДН* — дроссели соответственно линейные и нелинейные.

Область применения — турбогенераторы мощностью 2,5—100 МВт и синхронные компенсаторы мощностью до 15 МВ · А.

Корректор можно включать как на основную, так и на дополнительную обмотку возбуждения возбудителя (ОВВ). Напряжение питания корректора 173 В. Минимальный ток выхода корректора 0,05 А, максимальный — 8 А при сопротивлении обмотки возбуждения (ОВ), равном 8 Ом, 5 А при 15 Ом, 4 А при 30 Ом и 3 А при 50 Ом. Максимальный рабочий ток корректора соответственно равен 4; 2,5; 1,5 и 1 А.

Точность регулирования составляет ± 0,5 % от значения поддерживаемого напряжения при неизменной частоте. Статизм корректора можно регулировать до 5 %.

Характеристика корректора $I_{кор} = f(U_л)$, где $U_л$ — линейное напряжение, при сопротивлении обмотки возбуждения 8 Ом и среднем положении установочного реостата приведена на рис. XVIII.7. Пунктиром показаны характеристики при крайних положениях установочного реостата. На рис. XVIII.8 приведены характеристики измерительного трансформатора (ТИ): $I_{упр} = f(U_л)$, где $I_{упр}$ — ток управляющей обмотки МУ.

АРВ типа ЭПА-151 включает в себя устройство компаундирования, двухсистемный корректор напряжения и релейную форсировку (рис. XVIII.9). Область применения — турбогенераторы мощностью 150 МВт и синхронные компенсаторы мощностью до 37,5 МВ · А. Корректор напряжения включается на дополнительные обмотки возбуждения. Напряжение питания корректора 173 В. Сопротивление дополнительных обмоток возбуждения 10 Ом. Максимальный рабочий ток 4 А. Максимальный ток выхода: согласованный $I_{кор.\ согл} = 9$ А, противовключенный $I_{кор.\ пр} = 11$ А.

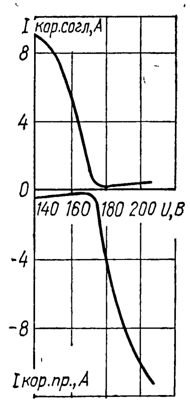


Рис. XVIII.10. Характеристика двухсистемного ЭМК.

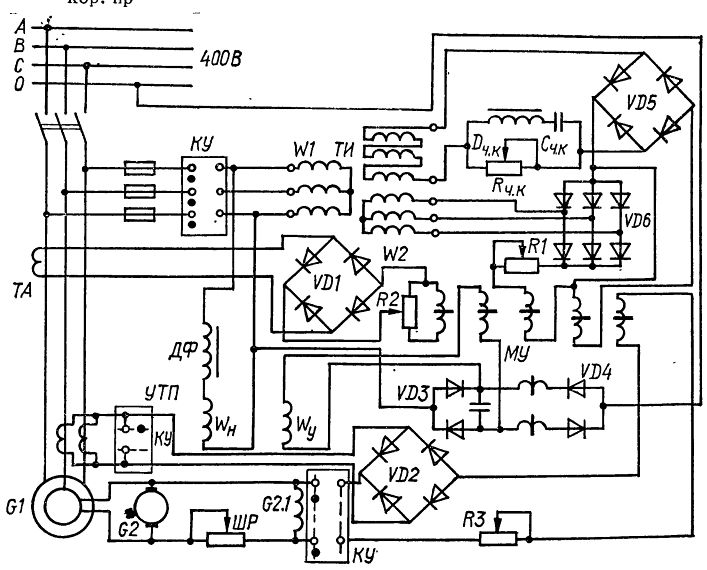


Рис. XVIII.11. Принципиальная схема устройства фазового компаундирования с электромагнитным коллектором УБК-У (РНА-60):
$D_{ч.\ к}$, $C_{ч.\ к}$ и $R_{ч.\ к}$ — соответственно дроссель, конденсатор и резистор частотной компенсации; *УТП* — универсальный трансформатор компаундирования; *w1* и *w2* — первичная и вторичная обмотки трансформатора *ТИ*; $w_н$ — обмотка напряжения; $w_у$ — обмотка управления; *ДФ* — дроссель фильтрующий.

Таблица XVIII.1. **Технические характеристики АРВ типа УБК**

Характеристика	Регулятор		
	УБК-1	УБК-У (РНА-60)	УБК-3
Полезная мощность на выходе	160 Вт — I и II исполнение 320 Вт — III и IV исполнение	400 Вт	630 Вт
Напряжение на выходе	20 В — I исполнение 40 В — II исполнение 40 В — III исполнение 80 В — IV исполнение	50 В — I исполнение 100 В — II исполнение	70 В — I исполнение 140 В — II исполнение
Ток на выходе	8,0 А — I исполнение 4,0 А — II исполнение 8,0 А — III исполнение 5,0 А — IV исполнение	8,0 А — I исполнение 4,0 А — II исполнение	9,0 А — I исполнение 4,5 А — II исполнение
Область применения	Турбогенераторы мощностью до 1 МВт	Турбогенераторы мощностью до 12 МВт Гидрогенераторы мощностью до 1,5 МВт	Турбогенераторы мощностью до 150 МВт
Точность регулирования, %	± (0,5—2)	± (0,5—2)	± (0,5—2)
Пределы регулирования статизма, % регулируемого напряжения	3—5	5	5
Пределы регулирования напряжения установочным реостатом, % регулируемого напряжения	±7,5	± (7—15)	±7,5
Точность коррекции напряжения по частоте, % регулируемого напряжения	±1	±0,5	±1

Точность регулирования составляет ± 0,5 % значения поддерживаемого напряжения при неизменной частоте. Статизм корректора можно регулировать в пределах ± 5 %. Установочный АТ корректора обеспечивает изменение напряжения генератора в пределах ± 10 %.

Характеристика двухсистемного корректора при $R_{наг} = 15$ Ом изображена на рис. XVIII.10.

Устройство типа ЭПА-132 представляет собой двухсистемный электромагнитный корректор напряжения, применяемый для гидрогенераторов мощностью 2,5—100 МВт.

Корректор включается на дополнительные обмотки возбуждения возбудителя. Сопротивление дополнительных обмоток возбуждения 15 Ом. Максимальный рабочий ток выхода: согласованный 8 А, противовключенный 10 А. Остальные характеристики устройства ЭПА-132 такие же, как у корректора АРВ типа ЭПА-151.

АРВ типов УБК (УБК-1), УБК-У (РНА-60), УБК-3 включают в себя устройства фазового компаундирования и электромагнитные корректоры напряжения, осуществляющие подмагничивание универсального многообмоточного трансформатора (УТП) фазового компаундирования (рис. XVIII.11).

Технические характеристики регуляторов типа УБК приведены в табл. XVIII.1. Характеристики регулятора типа УБК изображены на рис. XVIII.12.

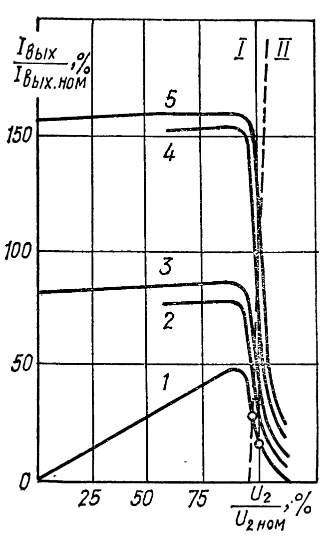


Рис. XVIII.12. Характеристики регулятора УБК $I_{вых} = f(U)$:

1 — холостой ход генератора; *2* — 50 %-ная нагрузка генератора при высоком cos φ; *3* — 50 %-ная нагрузка генератора при низком cos φ; *4* — 100 %-ная нагрузка генератора при низком cos φ (кривые *2*—*5* сняты при неизменном значении тока статора); *I* — астатическая настройка; *II* — настройка с отрицательным статизмом.

Наладка устройств компаундирования с электромагнитным корректором напряжения

В объем испытательно-наладочных работ по устройствам компаундирования с электромагнитным корректором напряжения входят следующие операции.

1. Проверочный расчет режимов и выбор модификации устройств компаундирования и корректора.
2. Внешний осмотр устройства.
3. Проверка коммутации (см. гл. III).
4. Испытание изоляции устройства (см. гл. III).
5. Проверка элементов устройства: а) измерение сопротивлений обмоток и реостатов постоянному току (см. гл. II); б) проверка коэффициентов трансформации трансформаторов, соотношений витков дросселей и отсутствия витковых замыканий (см. гл. III и XI); в) формовка и проверка выпрямителей (см. гл. XIV); г) проверка полярности и групп соединения обмоток трансформаторов, дросселей и магнитных усилителей (см. гл. III и XIV).
6. Снятие характеристики корректора напряжения $I_{вых} = f(U)$, где

$I_{вых}$ — ток выхода устройства в режиме, соответствующем холостому ходу генератора; U — напряжение, подводимое к устройству.

7. Подготовка и включение регулятора на генератор при холостом ходе, проверка и наладка устойчивости и точности регулирования, проверка пределов изменения напряжения, проверка и настройка частотной коррекции (там, где она имеется).

8. Опробование регулятора при работе генератора с нагрузкой, проверка правильности настройки компаундирующего трансформатора и других элементов регулятора; проверка фазочувствительности регулятора.

9. Проверка устойчивости распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами, определение и регулировка коэффициента статизма.

10. Наблюдение за регулятором при длительной (24—72-часовой) работе, проверка теплового режима элементов регулятора.

Проверочный расчет режимов и выбор модификации устройств компаундирования и корректора

Нормальное устройство компаундирования, работающее без корректора (типа ЭПА-305 и др.). Сопротивление шунтового реостата, которое должно быть постоянно включено при нормальной работе генератора, рассчитывают по формуле

$$R_{ш.\,р} = \frac{U_{в.\,х.\,х} - I_{в.\,х.\,х} R_{в.\,г}}{I_{в.\,х.\,х}} \text{ [Ом]},$$

где $U_{в.\,х.\,х} = I_{р.\,х.\,х} R_{р.\,г}$ [В] — напряжение на выводах возбудителя при холостом ходе генератора; $I_{р.\,х.\,х}$ — ток обмотки ротора при холостом ходе, А; $R_{р.\,г}$ — сопротивление обмотки ротора генератора при температуре 60—70 °С, Ом; $I_{в.\,х.\,х}$ — ток возбуждения возбудителя, соответствующий напряжению $U_{в.\,х.\,х}$ по нагрузочной характеристике, снятой при работе возбудителя на обмотку ротора генератора, А; $R_{в.\,г}$ — сопротивление обмотки возбуждения возбудителя при температуре 50 °С, Ом.

Коэффициент трансформации промежуточного (выпрямительного) трансформатора компаундирования определяется по формуле

$$N_{к} = k_{р} \frac{I_{г.\,ном} \beta_{I}}{k_{т.\,т} I_{к.\,ном}}, \qquad \text{(XVIII.5)}$$

где $k_{р}$ — коэффициент, выбираемый равным 0,5—0,7 для обеспечения регулировочной способности установочного реостата компаундирования; $I_{г.\,ном}$ — номинальный ток генератора; $k_{т.\,т}$ — коэффициент трансформации ТТ компаундирования; β_{I} — коэффициент выпрямления по току, для трехфазной схемы выпрямления, равный 1,2—1,3; $I_{к.\,ном} = I_{в.\,ном} - \frac{U_{в.\,ном} - I_{в.\,ном} R_{в.\,г}}{R_{ш.\,р}}$ [А] — ток компаундирования при номинальном режиме генератора; $I_{в.\,ном}$ — ток возбуждения возбудителя при номинальном режиме генератора (приближенно может быть определен с помощью

нагрузочной характеристики возбудителя), А; $U_{в.\,ном}$ — напряжение на выводах возбудителя при номинальном режиме генератора,

$$U_{в.\,ном} = I_{р.\,ном} R_{р.\,г} \text{ [В]}, \qquad \text{(XVIII.6)}$$

$I_{р.\,ном}$ — номинальный ток обмотки ротора, А; $R_{р.\,г}$ — сопротивление роторной обмотки при температуре 100—110 °С, Ом.

Сопротивление фазы установочного реостата для номинального режима генератора определяется из выражения

$$R_{уст} = \frac{U_2}{\dfrac{I_{г.\,ном}}{k_{т.\,т}} - \dfrac{N_к I_{к.\,ном}}{\beta_I}}.$$

Здесь U_2— напряжение на установочном реостате,

$$U_2 = \frac{\dfrac{I_{в.\,ном} R_{в.\,г}}{\beta_н} + \dfrac{\Delta U_л}{\sqrt{3}}}{N_к} \text{ [В]},$$

где $\beta_н$ — коэффициент выпрямления по напряжению для трехфазной схемы выпрямления, равный 2,2—2,3; $\Delta U_л = \left(1 + \dfrac{0{,}3}{m} I_{к.\,ном}\right) n$ [В] — линейное падение напряжения на выпрямителях при $I_{к.\,ном}$ (m и n — число соответственно параллельно и последовательно соединенных пластин в плече выпрямителя).

Нормальное устройство компаундирования с согласно включенным электромагнитным корректором (типа ЭПА-305 и др.). Для такого устройства сопротивление шунтового реостата возбудителя и установочного реостата компаундирования выбирают таким образом, чтобы в режиме холостого хода и в режиме работы генератора с максимально возможным коэффициентом мощности от корректора не требовался ток, меньше его минимального рабочего значения. Кроме того, проверяют максимальное значение тока корректора в режиме работы генератора с минимально возможным в эксплуатации коэффициентом мощности. Это значение не должно превышать длительно допустимого тока корректора.

Сопротивление введенной в работу части шунтового реостата рассчитывается по формуле

$$R_{ш.\,р} = \frac{U_{в.\,х.\,х} - I'_{в.\,х.\,х} R_{в.\,г}}{I'_{в.\,х.\,х}} \text{ [Ом]}.$$

Здесь $I'_{в.\,х.\,х}$ — ток возбуждения возбудителя при холостом ходе генератора, протекающий через шунтовой реостат,

$$I'_{в.\,х.\,х} = I_{в.\,х.\,х} - I_{кор.\,х.\,х} \frac{w_{д.\,в}}{w_в} \text{ [А]}, \qquad \text{(XVIII.7)}$$

где $I_{кор.\,х.\,х} = (2 \div 3)\, I_{кор.\,мин}$ [А] — ток выхода корректора в режиме холостого хода генератора ($I_{кор.\,мин}$ — минимальный рабочий ток корректора, А); $w_в$ и $w_{д.\,в}$ — число витков соответственно основной и дополнительной обмоток возбуждения возбудителя.

При включении корректора на общую обмотку возбуждения возбудителя выражение XVIII.7 принимает вид

$$I'_{в.\,х.\,х} = I_{в.\,х.\,х} - I_{кор.\,х.\,х}.$$

Сопротивление фазы установочного реостата компаундирования определяется по формуле

$$R_{уст.\,ком} = \frac{U_2}{\dfrac{I_г}{k_{т.\,т}} - \dfrac{I_к N_к}{\beta_I}} \; [Ом],$$

где $I_г$ — ток обмотки статора генератора при максимальном в эксплуатации коэффициенте мощности ($\cos\varphi_{макс}$); $I_к$ — ток компаундирования.

Последовательность определения тока компаундирования такова.

1. Рассчитывают напряжение на выводах возбудителя при токе обмотки ротора $I_{р1}$, соответствующем максимальному коэффициенту мощности и номинальной нагрузке:

$$U_в = I_{р1} R_{р.\,г} \; [В],$$

где $R_{р.\,г}$ — сопротивление обмотки ротора при температуре 100—110 °С.

2. По нагрузочной характеристике возбудителя определяют ток возбуждения возбудителя $I_в$, соответствующий напряжению $U_в$.

3. Рассчитывают ток в основной обмотке возбуждения возбудителя:

$$I_{о.\,в} = I_в - I_{кор.\,х.\,х} \frac{w_{д.\,в}}{w_в} \; [А].$$

4. Определяют ток, протекающий через шунтовой реостат:

$$I_{ш.\,р} = \frac{U_в - I_{о.\,в} R_{в.\,г}}{R_{ш.\,р1}} \; [А],$$

где $R_{в.\,г}$ — сопротивление основной обмотки возбуждения возбудителя при температуре 70 °С, Ом.

Таким образом, ток компаундирования

$$I_к = I_{о.\,в} - I_{ш.\,р} \; [А].$$

Нагрузку корректора и другие параметры устройства при минимальном эксплуатационном коэффициенте мощности ($\cos\varphi_{мин}$) определяют по приведенным ниже формулам. Напряжение на выводах возбудителя рассчитывают по формуле (XVIII.6).

Ток в основной обмотке возбуждения возбудителя определяют из выражения

$$I_{о.\,в} = \frac{\left(N_к^2 R_{уст.\,ком} + \dfrac{\sqrt{3}\, n\beta_I}{10m}\right) U_в + \left(\dfrac{I_г}{k_{т.\,т}} N_к R_{уст.\,ком} - \dfrac{n}{\sqrt{3}}\right) R_{ш.\,р1}\beta_I}{\left(N_к^2 R_{уст.\,ком} + \dfrac{\sqrt{3}\, n\beta_I}{10m}\right)(R_в + R_{ш.\,р1}) + R_в R_{ш.\,р1} \dfrac{\beta_I}{\beta_н}} \; [А].$$

Ток корректора (максимальный):

$$I_{кор} = (I_в - I_{о.\,в}) \frac{w_в}{w_{д.\,в}} \text{ [А]}$$

(ток $I_в$ определяется по нагрузочной характеристике при известном значении $U_в$).

Устройство компаундирования с двухсистемным корректором (типа ЭПА-151 и др.). При расчете режимов работы двухсистемного корректора принимают, что настройка устройства компаундирования остается нормальной, т. е. в режимах холостого хода и номинальной нагрузки генератора его напряжение равно номинальному. Если правильно выбраны характеристики согласованного и противовключенного корректоров напряжения, то образуются равные по величине и противоположные по знаку рабочие токи:

$$I_{к.\,с.\,х.\,х} = -I_{к.\,п.\,х.\,х}.$$

Значения этих токов близки к минимальным.

Для проверки режимов работы корректоров рассчитывают их токи при работе генератора с максимальным (режим 1) и минимальным (режим 2) коэффициентами мощности.

Результирующий ток корректоров (суммарный ток двух систем) определяется из таких соотношений:

режим 1

$$I_{кор1} = (I_{в1} - I_{о.\,в1}) \frac{w_в}{w_{д.\,в}};$$

режим 2

$$I_{кор2} = (I_{в2} - I_{о.\,в2}) \frac{w_в}{w_{д.\,в}}.$$

Для режима 1 имеем $I_{кор\,1} < 0$, так как работает в основном противовключенный корректор, а согласованно включенный выдает только свой минимальный ток $I_{с.\,мин}$. При режиме 2 будет $I_{кор\,2} > 0$, так как работает согласованно включенный корректор, а противовключенный выдает минимальный ток $I_{п.\,мин}$ (см. рис. XVIII.10).

Таким образом, токи противовключенного $I_{п1}$ и согласованно включенного $I_{с2}$ корректоров определяют из выражений

$$I_{п1} = I_{кор1} - I_{с.\,мин};$$
$$I_{с2} = I_{кор2} - I_{п.\,мин}.$$

Если, согласно расчету, в каком-либо режиме один из корректоров перегружен, а другой недогружен, необходимо изменить настройку компаундирования, выбрав другое значение сопротивления его установочного реостата. Сопротивление, при котором нагрузки согласованного и противовключенного корректоров одинаковы, рассчитываются по формуле

$$R_{уст.\,ком} = \frac{1}{N_к} \times$$

$$\times \frac{\frac{I_{о.\,в1}R_{в\,г}}{\beta_н} + \frac{\sqrt{3}n}{10m}(I_{в1} - I_{ш\,р1}) + \frac{I_{о.\,в2}R_{в\,г}}{\beta_н} + \frac{\sqrt{3}n}{10m}(I_{в2} - I_{ш.\,р2})}{\frac{I_{г1}}{k_{т.\,т}} - \frac{N_к}{\beta_I}(I_{в1} - I_{ш.\,р1}) + \frac{I_{г2}}{k_{т.\,т}} - \frac{N_к}{\beta_I}(I_{в2} - I_{ш.\,р2})}.$$

С найденным новым значением $R_{уст.\,ком}$ повторяют расчет режимов, в ходе которого определяют токи $I_{п1}$ и $I_{с2}$ для характерных нагрузок генератора.

Устройство фазового компаундирования с корректором (типов УБК-У, УБК-З). Модификация регулятора выбирается из условия, что максимальные значения тока $I_{макс}$ и напряжения $U_{макс}$ на выходе регулятора (см. табл. XVIII.1) не должны быть превышены в наиболее тяжелых эксплуатационных режимах (полная нагрузка нагретой машины при низком коэффициенте мощности, пониженной частоте и повышенном напряжении). Это условие выполняется при соблюдении соотношений

$$0{,}75U_{макс} \geqslant I_{в.\,ном}R_в + I_{вых.\,ном}R_д; \qquad (XVIII.8)$$

$$0{,}75I_{макс} \geqslant I_{в.\,ном}(1 - K_ш), \qquad (XVIII.9)$$

где $I_{вых.\,ном}$ — ток на выходе регулятора в номинальном режиме генератора, А; $R_д$ — добавочное сопротивление, которое может быть включено на выходе регулятора при избыточной мощности регулятора или при необходимости выравнивания напряжения на выходе регуляторов параллельно работающих генераторов, если предусматривается связь между обмотками возбуждения возбудителей; $K_ш$ — коэффициент, определяющий относительную величину тока шунтового самовозбуждения возбудителя при номинальной нагрузке генератора:

$$I_{ш.\,ном} = K_ш I_{в.\,ном}.$$

Для предварительного выбора модификации регулятора можно принять $R_д = 0$, а значение $K_ш$ рекомендуется принимать в таких пределах: для генераторов мощностью до 2000 кВт изолированно работающих электростанций $K_ш = 0 \div 0{,}5$, для генераторов мощностью больше 2000 кВт, а также для генераторов электростанций, имеющих связь с системой, $K_ш = 0{,}5 \div 0{,}65$. Увеличение значения $K_ш$ в последнем случае по сравнению с первым вызвано условиями устойчивости распределения реактивной мощности между генератором (станцией) и системой при переходе генератора (станции) в емкостный квадрант в нормальных эксплуатационных режимах, а также в процессе включения генератора методом самосинхронизации. При малом значении $K_ш$ в указанных случаях генератор может потерять возбуждение от регулятора, так как в емкостном режиме генератора число витков обмотки питания УТП может быть равно нулю.

Во всех случаях выбираемое значение $K_ш$ не должно превышать максимально допустимого значения:

$$K_{ш.\,макс} = 0{,}85\frac{I_{в.\,х.\,х}}{I_{в.\,ном}} \frac{U_{в.\,ном} - I_{в.\,ном}R_в}{U_{в.\,х.\,х} - I_{в.\,х.\,х}R_в}, \qquad (XVIII.10)$$

которое определяется условием обеспечения удовлетворительного регулирования напряжения при холостом ходе генератора. При вы-

бранном значении $K_ш$ сопротивление шунтового реостата определяется выражением

$$R_{ш.\,р} = \frac{U_{в.\,ном} - I_{в.\,ном} R_в}{K_ш I_{в.\,ном}}.$$

Ток на выходе регулятора при любой нагрузке генератора может быть определен по уравнению

$$I_{вых} = I_в - \frac{U_в - I_в R_в}{R_ш},$$

где $U_в$ и $I_в$ — напряжение возбудителя и его ток возбуждения в рассматриваемом режиме. Напряжение на выходе регулятора в этом режиме генератора определяется по уравнению

$$U_{вых} = I_в R_в + I_{вых} R_д.$$

При наличии данных о $I_{в.\,макс}$ и $U_{в.\,макс}$ в наиболее тяжелом эксплуатационном режиме генератора вместо формул (XVIII.8) и (XVIII.9) нужно пользоваться следующими:

$$U_{макс} \geqslant I_{в.\,макс} R_в + R_д \left(I_{в.\,макс} - \frac{U_{в.\,макс} - I_{в.\,макс} R_в}{R_{ш.\,р}} \right);$$

$$I_{макс} \geqslant I_{в.\,макс} - \frac{U_{в.\,макс} - I_{в.\,макс} R_в}{R_{ш.\,р}}.$$

Количество витков первичной последовательной обмотки УТП определяется по формуле

$$w1 = \frac{1000P}{\alpha I_{г.\,ном}} \left\{ -2 + \sqrt{4 + \frac{I^2_{в.\,ном} [R_в + R_д (1 - K_ш)] (1 - K_ш)}{2{,}8 k_{ном} k_ф S}} \right\}. \quad \text{(XVIII.11)}$$

Здесь α — коэффициент, учитывающий способ включения УТП; при включении УТП в две фазы генератора на разность токов (через трансформаторы тока или без них) $\alpha = 1{,}73$; P — величина, численно равная коэффициенту трансформации $k_{т.т}$ компаундирующих ТТ (для случая включения УТП через трансформаторы тока) или же минимальному количеству витков в окне УТП $w_{1\,мин}$, необходимому для осуществления выбранного прямого включения (при прямом включении УТП в две фазы генератора на разность токов $w_{1\,мин} = 2$); $k_{ном}$ — коэффициент регулировочной способности регулятора при номинальной нагрузке генератора, который представляет собой отношение тока на выходе регулятора при номинальной нагрузке генератора к максимально возможному току на выходе регулятора при тех же условиях, но при отсутствии подмагничивания УТП (при минимальном токе выхода корректора); $k_{ном}$ рекомендуется принимать в пределах 0,48—0,58, меньшие значения этого коэффициента следует выбирать, когда желательно получить естественный отрицательный статизм регулирования; при $k_{ном} = 0{,}58$ настройка регулятора имеет астатический характер; $k_ф$ — коэффициент, характеризующий форсировочную способность регулятора; он представ-

ляет собой отношение напряжения на выходе регулятора при номинальной нагрузке генератора к напряжению на выходе регулятора, которое он должен обеспечить в режиме форсировки возбуждения при коротком замыкании генератора; значение $k_ф$ рекомендуется принимать в пределах 0,3—0,4; S — сечение магнитопровода УТП.

В случае питания УТП от ТТ желаемая форсировка возбуждения, определяемая коэффициентом $k_ф$, достигается при условии, что максимальное напряжение $U_{г.\,макс}$, которое может быть обеспечено этими трансформаторами, выражается зависимостью

$$U_{г.\,макс} \geqslant \frac{I^2_{в.\,ном}\,[R_в + R_д\,(1 - K_ш)]\,(1 - K_ш)\,k_{т.\,т}}{0{,}58 k_{ном} k_ф \alpha I_{г.\,ном}}. \qquad (XVIII.12)$$

Ориентировочно максимальное напряжение ТТ для сердечников из стали Э310 (ХВП) сечением $S_т$:

$$U_{г.\,макс} = 1{,}5 \cdot 0{,}022 w_{т2} S_т;$$

для сердечников из стали Э42:

$$U_{г.\,макс} = 0{,}022 w_{т2} S_т \left(1 + \frac{0{,}7 I_{г.\,ном} w_{т1}}{1700 + I_{г.\,ном} w_{т1}}\right).$$

Число первичных витков ТТ:

$$w_{т1} = \frac{w_{т2}}{k_{т.\,т}}.$$

При наличии релейного устройства форсировки возбуждения значение коэффициента $k_ф$ в выражении (XVIII.12) можно увеличить до 0,75. Тогда для питания УТП пригодны менее мощные ТТ. Однако максимум возбуждения практически достигается за счет релейной форсировки возбуждения.

Если при максимальном значении $K_ш$, определяемом уравнением (XVIII.10), не удовлетворяется условие (XVIII.12), значит, компаундирующие ТТ имеют недостаточную мощность. Тогда необходимо использовать второй комплект сердечников (при его наличии) или заменить ТТ на более мощные.

Распределение первичных витков $w1$ между фазами генератора (только в случае прямого включения) зависит от выбранного включения УТП; при включении на разность токов двух фаз в каждой из этих фаз используется половина витков $w1$.

Количество вторичных витков УТП определяется по формуле

$$w2 = \frac{0{,}8 k_{ном} \alpha I_{г.\,ном} w1}{I_{в.\,ном} P\,(1 - K_ш)}.$$

Минимальное количество витков параллельной обмотки УТП:

$$w_{н.\,мин} = \frac{2{,}3 I_{в.\,х.\,х} w2\,(1 - 1{,}1 K_ш)}{I_{д.\,ф.\,макс}},$$

где $I_{д.\,ф.\,макс}$ — максимально допустимый ток дросселя или параллель-

ной обмотки УТП, $I_{д.\ ф.\ макс} = 2,7$. Максимально допустимое значение $w_н$ составляет

$$w_{н.\ макс} = \frac{0,45 w2 U_{ном}}{I_{в.\ ном}[R_в + R_д(1 - K_ш)]} \qquad (XVIII.13)$$

при условии использования свободных секций обмоток $w1$ и $w2$, если устойчивость регулирования напряжения при холостом ходе генератора окажется неудовлетворительной или если желательно разгрузить эту цепь по току для облегчения теплового режима УТП. В уравнении (XVIII.13) $U_{ном}$— напряжение питания цепи дросселя ДФ и параллельной обмотки УТП, равное для генератора НН его номинальному линейному или фазовому напряжению.

Следует помнить, что между токами возбуждения возбудителя при холостом ходе генератора и его номинальной нагрузке существуют такие соотношения:

для гидрогенераторов

$$I_{в.\ ном} = (1,5 \div 2,0)\, I_{в.\ х.\ х};$$

для турбогенераторов, дизельгенераторов и др.

$$I_{в.\ ном} = (2,5 \div 3,0)\, I_{в.\ х.\ х}.$$

Эти соотношения можно использовать в том случае, когда экспериментально получить значение тока $I_{в.\ ном}$ затруднительно.

Витки УТП рекомендуется выбирать на основе результатов расчета по приведенным выше формулам для нескольких значений коэффициентов $k_{ном}$, $k_ф$ и $K_ш$. Лучшим результатом следует признать тот, который легче осуществим (для УТП прямого включения) и у которого меньшее значение коэффициента $K_ш$.

Напряжение на первичной последовательной обмотке УТП в любом режиме генератора:

$$U_1 = 1,4 \frac{w1}{w2}\left[I_в R_в + R_д\left(I_в - \frac{U_в - I_в R_в}{R_ш}\right)\right].$$

При **внешнем осмотре** устройства следует обращать внимание на правильность выполнения монтажа в соответствии с выбранной схемой включения и модификацией устройства, надежность выполнения изоляции между витками первичной обмотки УТП, правильность выбора ТТ и ТН. В процессе осмотра должна быть проверена плотность каждого контактного соединения и каждой пайки. В некоторых случаях проверяются диаметр выпрямительных пластин и сечение магнитопроводов МУ и универсальных трансформаторов УБК. Обращается внимание также на надежность крепления элементов регулятора.

Снятие характеристики корректора напряжения

Зависимость тока выхода корректора от подводимого к нему напряжения, $I_{вых} = f(U)$, является характеристикой, по которой можно судить об исправности всех элементов корректора, отсутствии ошибок в сборке его схемы и о правильности настройки. Подводимое к корректору напряжение можно изменять либо с помощью устано-

вочного АТ, в ряде случаев входящего в комплект устройства, либо с помощью лабораторных регулировочных АТ.

Если корректор установлен на генераторе небольшой мощности, напряжение иногда целесообразно изменять непосредственно на генераторе, регулируя его возбуждение шунтовым реостатом. Выход корректора при снятии характеристики обычно замыкается на эквивалентное сопротивление $R_э$ (рис. XVIII.13), значение которого указывается в заводской технической документации; последовательно с сопротивлением включается амперметр постоянного тока.

При снятии характеристики корректора, входящего в состав устройства УБК, необходимо включить через амперметр на обмотку управления универсального компаундирующего трансформатора УТП выход МУ, закоротить вторичную обмотку УТП, закоротить частотный контур и отключить обмотку внешней обратной связи МУ.

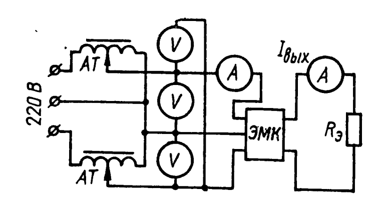


Рис. XVIII.13. Схема снятия характеристики ЭМК.

Если в корректор включен установочный реостат, характеристику следует снимать при трех его положениях, соответствующих минимальному, максимальному и среднему напряжениям. Снятые в процессе наладки характеристики сравнивают с заводскими, после чего добиваются получения характеристик требуемой формы.

Влиять на параметры характеристики можно с помощью согласованного или встречного включения и отключения витков внешней обратной связи МУ, изменения соотношения токов линейного и нелинейного элементов. При этом необходимо следить за тем, чтобы токи отдельных элементов корректора не оказались больше допустимых.

Пробное включение устройства на генератор при холостом ходе

Первое включение устройства на генератор производится при его холостом ходе. Предварительно генератор возбуждается шунтовым реостатом до напряжения, равного 0,9 номинального; установочный реостат ставится в положение, соответствующее минимальному напряжению. Затем устройство включается и, если оно работает нормально, шунтовой реостат переводится в положение, соответствующее работе генератора с устройством. При этом напряжение на генераторе поддерживается на требуемом уровне с помощью установочного реостата. В дальнейшем устройство можно включать толчком или разворачивать генератор при включенном устройстве. В последнем случае по достижении определенной скорости вращения агрегата произойдет самовозбуждение генератора, и напряжение установится на заданном уровне.

При включении устройства толчком проверяют следующие характеристики регулирующего устройства: устойчивость, точность и динамическую ошибку регулирования (заброс напряжения), а также пределы изменения регулируемого напряжения.

Устойчивость регулирования характеризуется количеством колебаний стрелки вольтметра после включения регулирующего устройства толчком. Малое число колебаний стрелки связано обычно со снижением точности регулирования и повышением броска напряжения,

большое число колебаний неудобно в эксплуатации. Оптимальным принято считать число колебаний стрелки вольтметра, не превышающее 10.

Точность регулирования определяется при трех — пятикратном включении толчком регулирующего устройства с одинаковыми условиями (частотой, положением установочного реостата и т. п.) и сравнении значений напряжения генератора в установившихся режимах.

Степень устойчивости регулирующего устройства изменяется путем включения и отключения стабилизирующего трансформатора, регулировкой сопротивления в его первичной цепи или изменением наклона характеристики корректора (коэффициента усиления регулятора) с помощью обмоток обратной связи.

Пределы изменения регулируемого напряжения проверяют при последовательном перемещении установочного реостата или АТ в крайние положения и измерении напряжения на выводах генератора (обычно щитовым вольтметром). Настройка выполняется либо путем изменения сопротивления регулировочного реостата в цепях линейного элемента, либо переключением отпаек установочного АТ. При этом характеристики корректора в координатах $I_{вых}$, U смещаются почти параллельно самим себе.

В устройствах типа УБК при холостом ходе генератора дополнительно настраивается частотная коррекция. Настройка заключается в том, что регулировкой активного сопротивления частотного контура (ЧК) (см. рис. XVIII.11) добиваются такого положения, при котором изменение частоты генератора в пределах 48—52 Гц не приводит к заметному изменению его напряжения.

Для генераторов с надежными и хорошо налаженными автоматическими регуляторами скорости первичных двигателей частотную коррекцию можно отключать.

Опробование регулирующего устройства при работе генератора с нагрузкой

Выход регулирующего (компаундирующего) устройства отсоединяется от возбудителя и замыкается через амперметр постоянного тока на сопротивление, которое выбирается примерно равным сопротивлению обмотки возбуждения возбудителя. На вход устройства компаундирования подается ток от ТТ или непосредственно (для БК непосредственного включения). Правильность выполнения схемы устройства и отсутствие дефектных элементов проверяются сравнением первичных и вторичных (выпрямленных) токов или коэффициентов трансформации, полученных из опыта и расчетным путем. Для устройства нормального компаундирования расчеты выполняются по формуле (XVIII.5).

Для регуляторов типа УБК предварительно определяется коэффициент трансформации:

при включении через ТТ

$$N_к = \frac{w2}{w1};$$

при включении без ТТ (см. выражение (XVIII.11))

$$N_к = \frac{w2w1_{мин}}{\alpha w1}.$$

После проведения опыта коэффициент трансформации рассчитывается по формуле

$$N_{к} = (0{,}75 \div 0{,}81)\frac{I_1}{I_{вых}},$$

где I_1 — ток первичной обмотки УТП (при непосредственном включении — ток генератора); $I_{вых}$ — ток выхода УТП.

Во время проведения опыта параллельная первичная и управляющая обмотки УТП должны быть отключены. В исправных устройствах значения коэффициента трансформации, определенные опытным и расчетным путем, практически совпадают.

Если генератор работает с нагрузкой и при отсоединенном от возбудителя регулирующем устройстве, можно проверить правильность включения параллельной первичной обмотки УТП. Предварительно это выполняется путем снятия векторной диаграммы. Окончательно фазочувствительность устройства типа УБК определяется в процессе нормальной работы генератора с регулятором при изменении $\cos\varphi$ нагрузки. Изменять фазочувствительность регулятора можно либо изменением положения движка шунтового реостата, либо переключением параллельной первичной обмотки УТП на другую фазу, либо шунтированием дросселя ДФ добавочным активным сопротивлением

Проверка устойчивости распределения реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами

Предварительно проверяется коэффициент статизма регулирующего устройства каждого генератора. Изменять коэффициент статизма можно, меняя наклон характеристики корректора (более крутой характеристике соответствует меньший коэффициент статизма) или включая специальные элементы. Для обеспечения устойчивого и равномерного распределения реактивных нагрузок между генераторами следует установить примерно одинаковые коэффициенты статизма регулирующих устройств.

Устойчивость и равномерность распределения реактивных нагрузок проверяются многократным включением (толчком) или отключением реактивной нагрузки. Соотношение реактивных мощностей генераторов до и после включения нагрузки не должно существенно изменяться.

Когда работают регуляторы типа УБК, обеспечить устойчивость распределения реактивных нагрузок можно при очень малых значениях коэффициента статизма за счет включения уравнительных связей между регуляторами. Схема одного из вариантов включения уравнительных связей для генераторов низкого напряжения приведена на рис. XVIII.14.

Выпрямительные возбудители

В качестве примера рассмотрим систему полупроводникового высокочастотного возбуждения с АРВ и УБВ. Устройства автоматики смонтированы на типовых панелях ЭПА-325 и ЭПА-500. Структурная схема АРВ приведена на рис. XVIII.15. Основными элементами системы являются высокочастотный возбудитель *G2*, являющийся трехфазным генератором с частотой 500 Гц, и кремниевые выпрямители *B1* и *B2*.

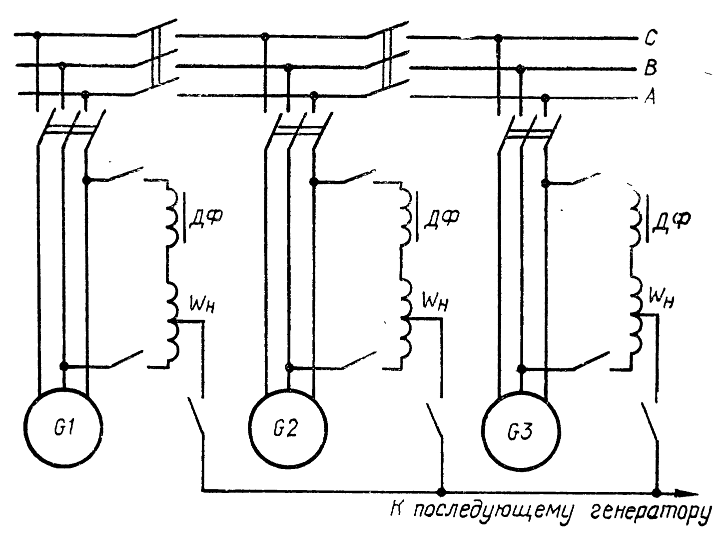


Рис. XVIII.14. Схема включения уравнительных связей между УБК параллельно работающих генераторов.

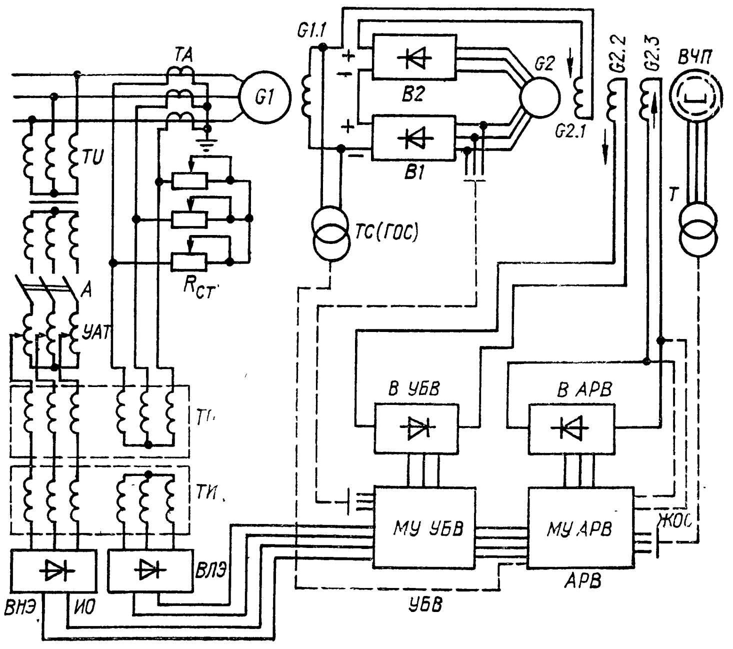


Рис. XVIII.15. Структурная схема системы полупроводникового высокочастотного возбуждения с АРВ и УБВ.

На роторе *G2*, связанном с валом ротора *G1*, расположены три вращающиеся обмотки возбуждения *G2.1*, *G2.2*, *G2.3*.

Панель автоматики включает в себя АРВ с измерительным органом (ИО), устройствами гибкой и жесткой обратной связи (ГОС и ЖОС) и УБВ.

Возбуждение *G2* в нормальном режиме обеспечивается совместным действием двух обмоток: основной *G2.1*, включенной последовательно с обмоткой ротора *G1.1*, и *G2.3*, получающей ток от АРВ и компенсирующей избыточное намагничивающее действие *G2.1*.

В обмотке *G2.2*, действующей согласно с основной и подключенной к УБВ, в нормальном режиме проходит небольшой ток, не оказывающий заметного влияния на возбуждение *G2*.

Измерительный орган АРВ и УБВ выполнен по принципу сравнения токов линейного и нелинейного элементов аналогично рассмотренному выше и включает в себя трехфазный трансформатор ТИ с насыщающимся сердечником и выпрямители ВЛЭ и ВНЭ.

Нелинейным элементом измерительного органа является первичная обмотка трансформатора ТИ, представляющая собой дроссель, ток в цепи которой изменяется нелинейно при изменении напряжения генератора. Линейным элементом является вторичная обмотка этого же трансформатора, напряжение на которой изменяется линейно.

Токи линейного и нелинейного элементов измерительного органа после их выпрямления выпрямителями ВЛЭ и ВНЭ подводятся к управляющим обмоткам магнитных усилителей силового органа АРВ и УБВ.

Силовой орган АРВ и УБВ включает в себя два магнитных усилителя с внутренней обратной связью МУ АРВ и МУ УБВ и два трехфазных выпрямителя В АРВ и В УБВ.

На сердечниках магнитных усилителей расположены силовые обмотки и по нескольку обмоток подмагничивания, с помощью которых производится управление их работой.

Питание силовых обмоток магнитных усилителей производится от высокочастотного подвозбудителя ВЧП.

Силовые обмотки магнитных усилителей имеют наибольшее сопротивление при отсутствии подмагничивания, что может быть или при отсутствии токов в обмотках управления, или в случае, когда их суммарное подмагничивающее действие мало или равно нулю. В этих условиях токи от силового органа АРВ или УБВ имеют наименьшее значение.

Основное управление магнитными усилителями МУ АРВ и МУ УБВ производится обмотками линейного и нелинейного элементов измерительного органа, которые включены встречно. При этом в МУ УБВ обмотка линейного элемента действует согласно с внутренней обратной связью, а обмотка нелинейного элемента — встречно. В МУ АРВ, наоборот, обмотка линейного элемента действует встречно, а обмотка нелинейного элемента — согласно с внутренней обратной связью.

В результате, при нормальном напряжении генератора $U_{г.\,н}$ ток $I_{АРВ\,н}$, поступающий в обмотку *G2.3*, имеет значение, необходимое и достаточное для компенсации избыточного возбуждения, создаваемого обмоткой *G2.1* (рис. XVIII.16). Ток $I_{УБВ}$, поступающий в обмотку *G2.2*, имеет при этом минимальное значение и, как указывалось выше, заметного влияния на возбуждение *G2* не оказывает.

При эксплуатационных понижениях напряжения генератора ток $I_{АРВ}$ уменьшается, а ток $I_{УБВ}$ увеличивается. Вследствие этого ток в обмотке *G2.3*, направленный в сторону развозбуждения, уменьшается, а ток в обмотке *G2.2*, направленный в сторону подвозбуждения, уве-

личивается, что обеспечивает увеличение тока обмотки ротора генератора и восстановление напряжения.

При коротких замыканиях, сопровождающихся более глубокими понижениями напряжения, ток выхода АРВ снижается до минимального, а ток выхода УБВ, наоборот, достигает максимального значения, что обеспечивает форсировку возбуждения генератора.

При повышении напряжения ток выхода АРВ резко возрастает, увеличивая развозбуждающее действие обмотки *G2.3*, а ток УБВ несколько уменьшается или остается неизменным, что приводит к восстановлению напряжения генератора.

Характеристики измерительного и силового органов выбираются так, чтобы при понижении напряжения на 5 % ток от АРВ снижался до минимального значения, а ток от УБВ возрастал примерно до 80 % своего максимального значения. При повышении напряжения на 5 % ток АРВ увеличивается до максимума, а ток УБВ снижается до минимума.

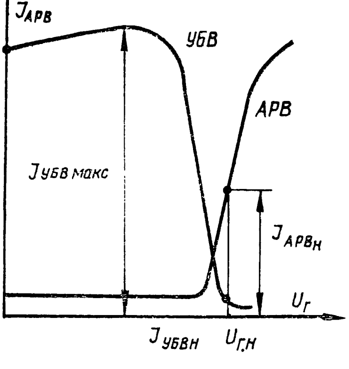


Рис. XVIII.16. Характеристики зависимости токов выхода АРВ и УБВ от напряжения генератора.

Гибкая обратная связь осуществляется через трансформатор стабилизации ТС. Первичная обмотка ТС подключена на напряжение обмотки ротора генератора, а вторичная — к специальной обмотке управления магнитного усилителя МУ АРВ.

В случаях, когда напряжение обмотки ротора неизменно, оно на вторичную обмотку ТС не трансформируется, и ток в этой обмотке и обмотке управления не проходит.

В процессе регулирования, когда под воздействием АРВ и УБВ происходит увеличение или уменьшение напряжения ротора, возникает напряжение на вторичной обмотке ТС, под влиянием которого в управляющей обмотке проходит ток, ослабляющий действие АРВ. В результате процесс регулирования становится более устойчивым и протекает без перерегулирования и колебаний.

Жесткая обратная связь осуществляется от напряжения выхода АРВ. Ток, создаваемый этим напряжением в другой специальной управляющей обмотке МУ АРВ, действует в сторону уменьшения крутизны характеристики АРВ, что также стабилизирует процесс автоматического регулирования.

Для ограничения перегрузки обмотки ротора и полупроводниковых выпрямителей, которые выпрямляют напряжение высокочастотного возбудителя *G2*, на панели автоматики имеется специальный блок ограничения форсировки (на схеме не показан). Блок ограничения форсировки (БОФ) работает аналогично электромагнитному корректору. Измерительный орган, включающий в себя линейный и нелинейный элементы, подключается к одной из обмоток переменного тока высокочастотного возбудителя *G2*, а силовой орган подключен к специальным управляющим обмоткам МУ АРВ и МУ УБВ.

В диапазоне напряжений *G2*, при которых ток обмотки ротора генератора не превышает допустимых значений, ток на выходе БОФ имеет минимальное значение. Если же при форсировке возбуждения напряжение *G2* возрастает до значений, при которых ток ротора пре-

высит допустимую кратность номинальному току, ток на выходе БОФ также резко возрастает и, проходя по управляющим обмоткам магнитных усилителей, препятствует недопустимому повышению напряжения на *G2*.

Длительная перегрузка, опасная для обмотки ротора генератора, а также для выпрямительных мостов, может возникнуть не только при форсировке возбуждения, но также из-за разных неисправностей элементов регулятора и его цепей. Поэтому для ограничения перегрузки в этих случаях предусмотрена специальная защита.

Защита действует на развозбуждение генератора при длительном повышении напряжения на высокочастотном возбудителе и при отключении автомата в цепи *TU*, питающего панель автоматики.

В объем испытательно-наладочных работ по системам полупроводникового высокочастотного возбуждения с АРВ входит следующее.

1. Внешний осмотр.
2. Проверка схемы соединений и маркировки.
3. Измерение сопротивления и испытание изоляции. Сопротивление изоляции измеряют мегомметром на 1000 В. Допустимые значения для обмоток *G2* 20 МОм, обмоток подвозбудителя ВЧП и токопровода *G2* — 10 МОм, выпрямителей — 5 МОм, цепей системы со всей присоединенной аппаратурой — 1 МОм.
4. Измерение сопротивлений постоянному току элементов системы.
5. Снятие х.х.х. *G2* с выпрямительной установкой.
6. Снятие х.к.з. *G2*.
7. Снятие нагрузочной характеристики системы.
8. Снятие внешней характеристики подвозбудителя ВЧП на нагрузку — АРВ. Изменение напряжения ВЧП не должно превышать 7 %.
9. Проверка пределов регулирования напряжения при холостом ходе генератора. Пределы регулирования при воздействии на задатчик АРВ должны составлять 0,9—1,1 номинального.
10. Проверка устойчивости регулирования при холостом ходе генератора. Напряжение генератора должно устанавливаться АРВ после затухающего колебательного процесса.
11. Проверка режимов работы вентилей выпрямительной установки при работе генератора под нагрузкой.
12. Контроль теплового режима.
13. Проверка устойчивости регулирования возбуждения при работе СГ под нагрузкой Проверка осуществляется во всем диапазоне нагрузок, в том числе в режиме перегрузки ротора на 25 % при номинальной активной мощности СГ.
14. Проверка пределов регулирования реактивной мощности.
15. Проверка статизма регулирования.
16 Проверка режимов форсировки и расфорсировки. Скорость нарастания напряжения на кольцах ротора должна быть не менее $2U c^{-1}$. Время расфорсировки не должно превышать 3 с.

Автоматическое регулирование напряжения трансформаторов

Силовые трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН) во многих случаях оснащаются устройствами автоматического управления, которые называют блоками автоматического регулирования коэффициента трансформации (АРКТ).

Блок АРКТ воздействует на приводной механизм переключающего устройства трансформатора На вход блока АРКТ подается либо напряжение вторичной обмотки трансформатора U_2 (схема стабилизации напряжения), либо геометрическая сумма напряжения вторичной обмотки трансформатора U_2 и напряжения, пропорционального току нагрузки I_2 (схема встречного регулирования или токовой компенсации):

$$\dot{U}_{2р} = \dot{U}_2 + \dot{I}_2\dot{Z}_л = \text{const},$$

где $\dot{Z}_л$ — эквивалентное комплексное значение сопротивления линии от трансформатора до точки сети, в которой напряжение требуется поддерживать постоянным. Промышленностью выпускаются несколько разновидностей АРКТ.

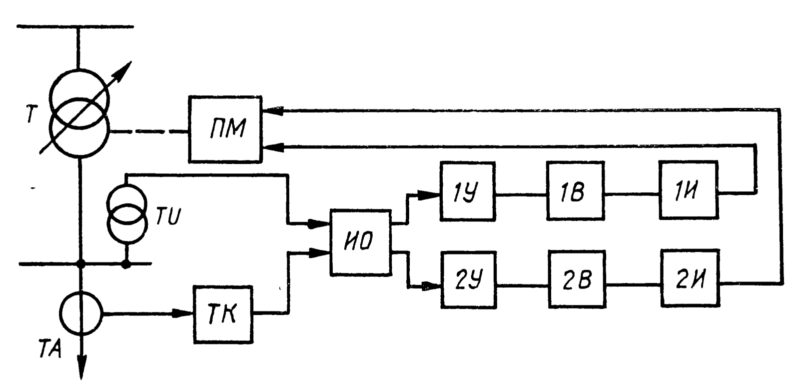


Рис. XVIII.17. Структурная схема системы АРКТ.

Электромеханические регуляторы типа АСН-1 были заменены полупроводниковыми типов БАУРПН-1 и БАУРПН-2 и, наконец, в настоящее время выпускаются регуляторы типа АРТ-1Н.

Структурная схема системы АРКТ, соответствующая всем типам регуляторов, приведена на рис. XVIII.17. На схеме обозначены: *Т* — регулируемый силовой трансформатор; *TU* и *ТА* — измерительные трансформаторы соответственно напряжения и тока; *ТК* — устройство токовой компенсации; *ИО* — измерительный орган; *1У*, *2У* — усилители; *1В*, *2В* — элементы выдержки времени; *1И*, *2И* — исполнительные органы; *ПМ* — приводной механизм регулирующего устройства. Органы *1У*, *1В* и *1И* относятся к каналу «Прибавить», органы *2У*, *2В* и *2И* — к каналу «Убавить».

Параметры настройки АРКТ

1. Среднее значение напряжения $U_{ср}$, поддерживаемое с помощью регулятора (уставка по напряжению):

$$U_{ср} = \frac{U_{макс} + U_{мин}}{2},$$

где $U_{макс}$ и $U_{мин}$ — наибольшее и наименьшее значения напряжения, в диапазоне которых регулятор не реагирует на его изменение.

Значение $U_{ср}$ выбирается при стабилизации вторичного напряжения по соображениям обеспечения требуемого режима работы сети, но чаще всего равным номинальному вторичному напряжению трансформатора:

$$U_{ср} = U_{2ном};$$

при встречном регулировании — равным модулю геометрической суммы требуемого напряжения в заданной точке сети (чаще всего $U_{2\,ном}$) и падения напряжения в линии, соединяющей трансформатор с этой точкой:

$$U_{ср} = |\dot{U}_{2ном} + \dot{I}_2\dot{Z}_л| = \text{const}.$$

2. Зона нечувствительности регулятора ΔU — это диапазон изменения напряжения, на которое регулятор не реагирует:

$$\Delta U = U_{макс} - U_{мин}$$

или

$$\frac{\Delta U}{2} = U_{макс} - U_{ср} = U_{ср} - U_{мин}.$$

Зона нечувствительности регулятора, выраженная в процентах напряжения $U_{ср}$, определяется по формуле

$$a = \frac{\Delta U}{U_{ср}} 100 \ [\%].$$

При настройке регулятора во избежание частых срабатываний его вследствие перерегулирования зону нечувствительности определяют по формуле

$$a = k_з p \ [\%],$$

где $k_з$ — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2—1,4; p — ступень регулирования трансформатора в процентах от номинального напряжения (обычно 1,25; 2,5 %).

3. Для того чтобы регулятор не реагировал на кратковременные отклонения напряжения от заданного значения, превышающие зону нечувствительности, он снабжается элементами выдержки времени. Оптимальное значение выдержки времени зависит от режима сети и обычно определяется опытным путем. Обычно выдержка времени находится в диапазоне 40 с — 4 мин.

Регулятор типа АРТ-1Н

Если регулятор типа АСН-1 был выполнен на базе электромагнитного реле регулирования напряжения РРН-46 со сравнительно низким коэффициентом возврата,то в последующих разновидностях АРКТ в качестве чувствительного элемента по напряжению используются стабилитроны или туннельные диоды, благодаря чему коэффициент возврата регулятора равен 1. В регуляторе типа АРТ-1Н дополнительно имеется блок защиты и сигнализации, предотвращающий неправильные действия АРКТ и приводного механизма, а также предусмотрена возможность дистанционного и программного изменения уставок. Регулятор состоит из двух блоков: автоматического регулирования БАР и датчика тока ДТ5 (на 5 А) или ДТ1 (на 1 А).

Измерительный орган устройства реагирует на отклонение среднего значения напряжения, что при наличии высших гармонических составляющих вызывает меньшие погрешности регулирования, чем при использовании в качестве контролируемого параметра амплитудного значения напряжения (как у регулятора БАУРПН-1).

Уставка устройства по напряжению регулируется ступенями «грубо» через 5 % и «точно» в пределах от 0 до 5 % через 1 % номинального значения измеряемого напряжения. Уставка по зоне нечувствительности регулируется ступенями через 0,5 % от 0 до 4 % номинального напряжения.

Вход блока ДТ5 имеет две токовые гальванически несвязанные обмотки с номинальными токами 2,5; 3,5; 5,0; 7,0 и 2,5; 3,5; 5,0 А; блока ДТ1 — соответственно 0,5; 0,7; 1,0; 1,4 и 0,5; 0,7; 1,0 А.

Питание осуществляется напряжением 220 В промышленной частоты; устройство работает нормально при изменении напряжения питания в пределах от 80 до 120 % номинального. Потребляемая регулятором мощность не превышает 40 В · А, в том числе от измерительных трансформаторов напряжения не более 10 В · А и тока 2 × 5 В · А. Уставки по времени накопления: минимальная—не более 60 с, максимальная — не менее 180 с. Значение времени сброса не превышает уставки времени накопления; при необходимости обеспечивается возможность установки значения времени сброса не более 3 с при любой уставке времени накопления. Повторное срабатывание выходных реле при том же знаке отклонения напряжения на входе устройства происходит с задержкой не менее 1,5 с после очередного срабатывания привода РПН. Основные относительные погрешности уставок блока БАР: по напряжению — не более ±0,5 %, по зоне нечувствительности — не более ±0,2 %, по времени накопления— не более ±10 %. блока ДТ токовой компенсации — не более ±6 %.

Проверка и наладка АРКТ

После общей проверки АРКТ (внешний осмотр, проверка механической части, проверка схемы и маркировки, измерение сопротивления и испытание повышенным напряжением изоляции) производятся проверка и настройка: а) уставки по напряжению; б) уставки по зоне нечувствительности; в) элементов выдержки времени; г) блока токовой компенсации. После этого проводится испытание регулятора на работающем трансформаторе.

Рассмотрим проверку и настройку АРКТ на примере устройства АРТ-1Н.

Регулятор АРТ-1Н выпускается заводом-изготовителем с откалиброванными шкалами «Уставка», «Зона» и «Время». Калибровка шкал выполнена при питании цепи измерения напряжения от источника переменного напряжения, стабильность которого не менее 0,1 % и коэффициент нелинейных искажений $K_{н.и} \leqslant 0,5$ %, по вольтметру класса точности не ниже 0,1.

Проверка уставки по напряжению производится по схеме рис. XVIII.18. На блоке *БАР* вставляют штекеры в гнезда *1*, *3*, *5* матрицы «Режим», в гнезда 0 и 100 % матрицы «Уставка» и в гнездо 0 матрицы «Зона»; переключатель «Время» устанавливают в положение *4*, соответствующее максимальному времени накопления. Индикаторы T_1 и T_2 (вольтметры с пределом 30 В постоянного тока) присоединяют к гнездам «Убавить», «Прибавить» и общему (⚹) матрицы «Контроль». Напряжение питания от сети 220 В подключают к клеммам *1с* и *2с* разъема *Ш2* и проверяют его значение вольтметром класса 1,0. Источ-

ник стабилизированного переменного напряжения *ИСН* (стабильность 0,1 %, $K_{н.и} \leqslant 0{,}5$ %) и вольтметр *V* со шкалой до 150 В класса 0,1 подключают к клеммам *0a* и *1b* разъема *Ш2* (если используется другое регулирующее устройство и менее точный вольтметр, то настройка не обеспечит соответствие шкал паспортным данным).

Увеличивая (уменьшая) напряжение источника *ИСН*, добиваются срабатывания (резкого изменения показаний) индикатора T_1 (T_2). Погрешность σ уставки по напряжению определяют по формуле

$$\sigma = \pm \frac{U_1 - U}{U_1} 100\ [\%],$$

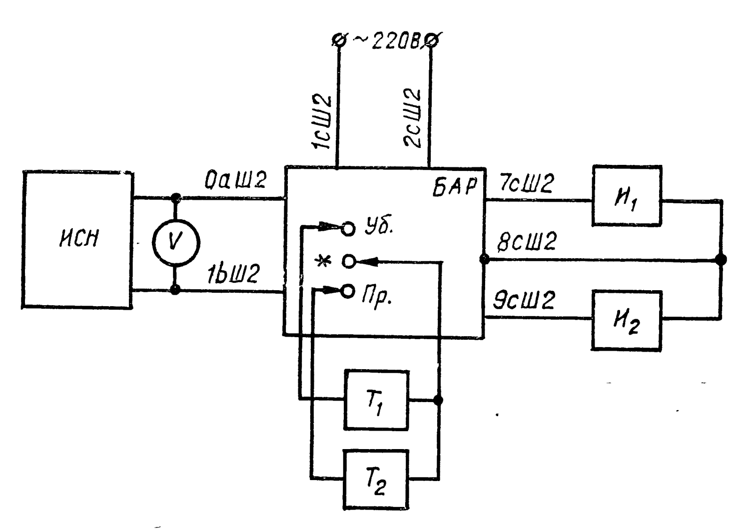


Рис. XVIII.18. Схема проверки блока БАР устройства АРТ-1Н.

где U_1 — значение напряжения уставки, В; U — значение входного напряжения, измеренного вольтметром *V* при срабатывании индикатора, В.

Проверку шкалы «Уставка» производят при поочередном включении штекера в гнезда «Грубо» 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115 % (при положении штекера в гнезде «Точно» 0) и «Точно» 0, 1, 2, 3, 4, 5 % (при положении штекера в гнезде «Грубо» 100 %) как в сторону «Убавить», так и в сторону «Прибавить». Подстройку шкалы «Уставка» производят потенциометром «Кор. уставки» (*R17*) при положении штекеров в гнездах «Грубо» 100 % и «Точно» 0. Затем с помощью осциллографа определяют величину импульса на резисторе *R7*, включенном последовательно со стабилитроном *D14* порогового элемента, который не должен превышать 0,5 В.

Проверка уставки по зоне нечувствительности производится тем же способом и по той же схеме, что и уставки по напряжению. Штекеры шкалы «Уставка» устанавливают в гнезда 100 % («Грубо») и 0 («Точно»), штекер шкалы «Зона» — в гнездо 4 %.

Увеличивая (уменьшая) напряжение источника *ИСН*, добиваются срабатывания индикатора T_1 (T_2) и фиксируют значение напряжения

источника U_1 (U_2). Погрешность уставки по зоне нечувствительности определяют по формуле

$$\sigma = \frac{a_ш - a}{a_ш} 100 \ [\%],$$

где $a_ш$— значение уставки по шкале «Зона», %; a — зона нечувствительности, определенная как

$$a = 2 \frac{U_1 - U_2}{U_1 + U_2} 100 \ [\%].$$

Корректировку шкалы «Зона» производят путем перемещения движка потенциометра *R4* и переключения отпаек автотрансформатора Тр1. После корректировки проверяют шкалу «Зона» при положении штекера поочередно во всех гнездах 0, 1, 2, 3, 4 %.

Проверка элементов выдержки времени выполняется в следующем порядке (см. рис. XVIII.18). На блоке *БАР* вставляют штекеры в гнезда *1*, *3*, *5*, *8*, *9* (последние два штекера — для получения времени сброса 3 с) матрицы «Режим», в гнезда 0 и 100 % матрицы «Уставка», в гнездо 4 % матрицы «Зона»; переключатель «Время» устанавливают в положение 1. В дополнение к ранее установленной испытательной аппаратуре к контактам выходных реле каналов «Убавить» и «Прибавить» присоединяют индикаторы — омметры $И_1$ и $И_2$ (клеммы *7с*, *8с* и *9с* разъема *Ш2*), а также подготавливают пружинный секундомер. Значение времени накопления на уставке 1 проверяют, повышая напряжение на входе скачком до 115—130 В (понижая до 85—70 В) и одновременно включая секундомер, который останавливают сразу же после срабатывания индикатора $И_1$ ($И_2$). Затем производят проверку поочередно при всех положениях переключателя «Время» *2*, *3*, *4*.

Проверку ускоренного сброса времени накопления производят при установленных штекерах в гнездах *8* и *9* матрицы «Режим». На уставке «Время» 1 при известном (ранее определенном) значении времени накопления скачком изменяют напряжение на входе регулятора до 115—130 В и одновременно включают пружинный секундомер. За 5 с до окончания времени накопления снимают возмущение, через 3 с его повторно наносят и фиксируют время накопления. Если время накопления незначительно (на 5—10 %) отличается от ранее определенного значения, устройство ускоренного сброса работает нормально.

Для определения времени контроля «застревания» привода в дополнение к схеме рис. XVIII.18 к свободным контактам реле Р2 (клеммы *3с*, *4с* разъема *Ш2*) присоединяют омметр. Устанавливают дополнительно штекер в гнездо *6* или *7* матрицы «Режим». В первом случае время контроля «застревания» привода должно быть порядка 10 с, во втором — 30 с. Клеммы *7с*, *9с*, *5b* разъема *Ш2* соединяют между собой, а клемму *8с* соединяют с *4b* для обеспечения срабатывания контрольно-сигнализационного устройства блока *БАР*. После срабатывания одного из выходных реле (индикаторы $И_1$ или $И_2$) включают пружинный секундомер, который останавливают после «срабатывания» дополнительного омметра. Вместо дополнительного омметра может быть использована сигнальная лампочка «Застревание».

Время поступления сигнала о неисправности блока *БАР* (привод не пошел) определяется с помощью электросекундомера, который запускается контактами одного из выходных реле блока *БАР* (Р5 или Р6), а останавливается (шунтируется) контактами контрольного реле Р4 (клеммы *5с* и *6с* разъема *Ш2*). Может быть использован пружинный секундомер, который включают при срабатывании выходного реле блока и останавливают при загорании сигнальной лампочки «Рассогла-

сование». Время, через которое должен поступить сигнал «Рассогласование» («Неисправность»), составляет примерно 1,5 с. Время, через которое поступает повторная команда на привод переключающего устройства трансформатора, в случае, когда на измерительном входе после очередного переключения остается отклонение напряжения того же знака, определяется пружинным или электрическим секундомером. Оно должно быть порядка 1,5 с.

Проверку блока токовой компенсации ДТ проводят следующим образом. На вход Тр1 (Тр2) подают ток от нагрузочного устройства:

$$i = \frac{I_{\text{л. раб. макс}}}{k_{\text{т. т}}} \text{ [А]},$$

где $I_{\text{л.раб.макс}}$ — максимальный рабочий ток линии, А; $k_{\text{т.т}}$— коэффициент трансформации трансформатора тока, предварительно выбрав соответствующую этому току отпайку трансформатора Тр1 (Тр2). Переключатель «Уставка 1» («Уставка 2») устанавливают в положение, при котором показания вольтметра (класса точности 0,5 с пределами измерения 0—30 В), подключенного к клеммам *1* и *19* (*18*), становятся равными эквивалентному падению напряжения в линии от тока нагрузки в точке регулирования.

При изменении положения переключателя ток поддерживают постоянным по величине, воздействуя на нагрузочное устройство.

Испытание и наладка АРКТ на работающем трансформаторе включают обычно следующее.

1. При холостой работе трансформатора: а) проверку правильности установки штекеров в гнезда матриц «Уставка» и «Зона», а также положения переключателей «Время», которые выбираются расчетным путем или (как «Время» и ДТ) на основании приближенных оценок режимов работы сети;

б) проверку правильности установки штекеров в гнезда матрицы «Режим». Штекеры устанавливаются в гнездо *1* при отсутствии токовой компенсации; в гнезда *2* и *4* при необходимости оперативного изменения уставки напряжения; в гнезда *3* и *5* при отсутствии оперативного изменения уставки напряжения; в гнездо *6* при времени переключения на одну ступень, не превышающем 10 с; в гнездо *7*, если это время не превышает 30 с; в гнезда *8* и *9*, если требуется, чтобы сброс времени накопления происходил не более чем за 3 с; в гнездо *10* для контроля работы электроприводов переключающего устройства; в) проверку работы переключающего устройства при дистанционном управлении; г) пробное включение и отключение АРКТ; д) опробование работы АРКТ при имитации изменения входного напряжения и автоматическом восстановлении заданного значения; е) проверку отсутствия сигнала о неисправности блока при крайних положениях переключающего устройства; ж) проверку работы сигнального устройства при имитации неисправностей в блоке БАР и переключающем устройстве; з) опробование устройств оперативного изменения уставок напряжения и времени; и) опробование устройства программного управления; к) опробование устройства ограничения регулирования; л) проверку работы АРКТ при изменении напряжения питания в пределах от 80 до 120 % номинального.

2. При работе трансформатора под нагрузкой: а) регистрацию записывающим вольтметром напряжения на выводах трансформатора при стабилизации его или в характерной точке электрической сети и на выводах трансформатора при встречном регулировании; б) корректировку настройки токовой компенсации; в) корректировку настройки элементов выдержки времени накопления и сброса.

Автоматическое регулирование мощности конденсаторных установок

Основной целью использования в системах электроснабжения конденсаторных установок и устройств автоматического регулирования их мощности является снижение до минимальной возможной величины потерь электроэнергии в элементах передачи (линиях, трансформаторах) и поддержание в заданных пределах напряжения электросети в месте включения конденсаторов.

Регулирование мощности конденсаторной установки становится возможным при делении ее на секции, с равной или нарастающей в геометрической прогрессии емкостью. В последнем случае при малом количестве секций можно получить большое число ступеней регулирования, используя сочетания секций разной мощности.

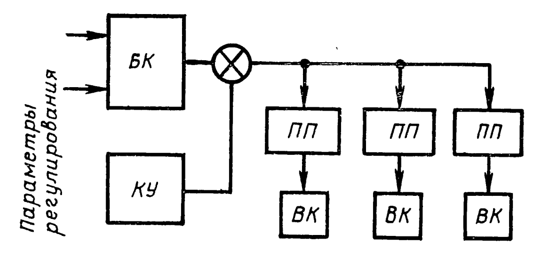


Рис. XVIII.19. Структурная схема устройства АРКОН-1.

В качестве параметра регулирования мощности конденсаторной установки используются следующие величины: коэффициент мощности ($\cos\varphi$), напряжение, ток нагрузки, реактивная мощность, время суток.

Применяется регулирование по нескольким параметрам (напряжению и коэффициенту мощности, напряжению с компенсацией реактивным током и т. д.).

Выбор того или другого параметра регулирования, а также его значений определяется по соображениям получения максимального технико-экономического эффекта в зависимости от режима работы и характеристики электроустановки.

Широкое распространение получили автоматические регуляторы отечественного производства типа АРКОН, обеспечивающие возможность регулирования по любому из указанных параметров (кроме времени суток), а также автоматические регуляторы производства ГДР типов eBR и SBR, осуществляющие регулирование по коэффициенту мощности.

Автоматический регулятор типа АРКОН-1

Устройство АРКОН-1 предназначено для автоматического ступенчатого регулирования реактивной мощности в электрических сетях промышленной частоты и состоит из командного блока БК, программных приставок ПП и кнопок управления КУ. Структурная схема устройства АРКОН-1 приведена на рис. XVIII.19, где *ВК*—выключатели секции конденсаторов.

Технические характеристики: номинальные значения контролируемого напряжения —100, 220, 230, 240, 380, 400, 415 В (перемычки на

трансформаторе Тр1 0—8, 0—9, 0—10, 0—11, 0—12, 0—13, 0—14) и тока 2,5; 3,75; 5 А; номинальные напряжения питания 100, 220, 230, 240, 380, 400, 415 В (перемычки на Тр3 блока БК 22—2, 22—3, 22—4, 22—5, 22—6, 22—7, 22—8 и на Тр приставки ПП 9—2, 9—3, 9—4, 9—5, 9—6, 9—7, 9—8), пределы допустимого отклонения напряжения питания 0,8—1,1 номинального; блок БК обеспечивает управление не более чем тремя приставками ПП, каждая приставка ПП производит коммутацию от 1 до 3 секций конденсаторной батареи по коду 1 : 1 : 1; пауза между двумя следующими друг за другом одноименными командами — не менее чем 0,4 установленной выдержки времени; мощность, потребляемая устройством, не превышает для питания блока БК 20 В · А, для питания приставки ПП — 20 В · А и для измерительной цепи — 5 В · А.

Устройство реагирует на эффективное значение контролируемого напряжения и среднее значение контролируемого тока. В устройстве имеются следующие настроечные элементы.

1. Для плавно-ступенчатой настройки параметра регулирования служат переключатель «Уставка ступенчато» и потенциометр «Уставка плавно». Переключатель «Уставка ступенчато» имеет градуировку 80, 90, 100 % номинального значения контролируемого напряжения и 0, 20, 40 % номинального значения контролируемого реактивного тока. Потенциометр «Уставка плавно» позволяет изменять уставку параметра в пределах от 0 до 10 % по напряжению и от 0 до 20 % по току.

2. Для плавной настройки зоны нечувствительности используется потенциометр «Зона» со шкалой от 0,5 до 4 % (возможно увеличение до 6 %) при регулировании по напряжению и от 3 до 40 % при регулировании по току.

3. При плавной настройке токовой компенсации применяется потенциометр «Компенсация» в пределах от 0 до 40 % номинального значения контролируемого напряжения.

4. Для ступенчатой настройки выдержки времени по каналам «Выше» и «Ниже» служит переключатель «Время» в пределах от 0,5 до 5 мин через каждые 0,5 мин.

Проверка и наладка устройства АРКОН-1

После общих испытаний производятся: проверка правильности выполнения схемы для регулирования по выбранным параметрам; проверка работоспособности блока БК; проверка работоспособности приставки ПП; проверочный расчет настройки; установка выбранных уставок настроечных элементов.

Проверка правильности выполнения схемы для регулирования по выбранным параметрам производится путем прозвонки или подачи напряжения и тока на основании схем включения, приведенных на рис. XVIII.20, при регулировании по реактивному току или напряжению с компенсацией общим реактивным током (рис. XVIII.20,*а*); напряжению с компенсацией активным током (рис. XVIII.20,*б*); напряжению с компенсацией реактивным некомпенсированным током нагрузки (рис XVIII.20,*в*); напряжению с компенсацией током конденсаторной батареи (рис. XVIII.20,*г*); коэффициенту мощности (cos φ) (рис. XVIII.20,*д*).

На схемах показано подключение цепей напряжения для установок напряжением выше 1000 В; в низковольтных установках трансформатор напряжения ТН, как правило, не применяется. В схеме, приведенной на рис. XVIII.20,*д*, для регулирования по коэффициенту мощности

применяются выносные резисторы $R1$ и $R2$ по 2,2 кОм, 10 Вт; конденсатор C — 4 мкФ, 500 В, переменный резистор $R3$— 300 Ом, 25 Вт. Значения сопротивления $R3$ в зависимости от коэффициента мощности (cos φ) приведены ниже.

cos φ	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
$R3$, Ом	265	230	185	130	0

При cos φ = 1 подключение выполняется по схеме рис. XVIII. 20,*а*.

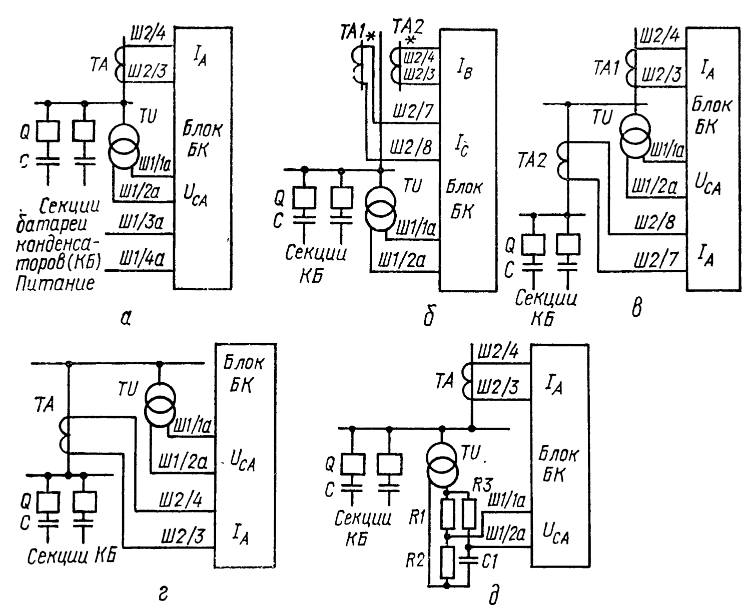


Рис. XVIII.20. Схемы включения блока БК устройства АРКОН-1.

На схемах обозначены клеммы разъема *Ш1* и колодки *Ш2*. Одновременно проверяют правильность установки штекеров и переключателя на лицевой панели блока БК. Штекер Шт1 должен быть вставлен в гнездо «I_{ra}» при регулировании по схемам рис. XVIII.20, *а*, *в*, *г*, *д* и в гнездо «I_{ac}» при регулировании по схеме рис. XVIII.20,*б*; штекер Шт2 должен быть вынут из гнезда «ПС» при работе с импульсным сигналом управления (в комплекте с приставками ПП) и вставлен при работе с потенциальным сигналом управления. Переключатель «Параметр регулирования» должен быть установлен в положение ПН при регулировании по напряжению и в положение ПТ при регулировании по реактивному току.

Проверка работоспособности блока БК производится по схеме, приведенной на рис. XVIII.21. На схеме обозначены *АТР* — регулировочный автотрансформатор, *1V* — вольтметр переменного тока с пределами измерения 0 — 3 В, входным сопротивлением 30 кОм, класса точности не ниже 4, $И_1$, $И_2$— амперметры-индикаторы, *ИО* — гнезда на блоке *БК*.

Вначале проверяют работоспособность нуль-органа. Для этого устанавливают переключатели «Параметр регулирования» в положение «ПН», «Уставка ступенчато» — 80 %, потенциометр «Уставка плавно» — в положение 0 и подают на вход с помощью АТР номинальное значение контролируемого напряжения. Если нуль-орган исправен, то вольтметр *2V* покажет напряжение 1,2—1,8 В.

Для проверки работоспособности блока БК в целом устанавливают «Параметр регулирования» в положение «ПН», «Уставка ступенчато»— на 100 %, «Уставка плавно» и «Время» — на 0, «Зона» — на максимум; штекер Шт2 вставляют в гнездо «ПС»; подают питание.

Проверку производят в следующем порядке. Устанавливают номинальное значение контролируемого напряжения, при этом вольтметр *2V* должен показать напряжение 0,8±0,3 В. Выдерживают блок БК

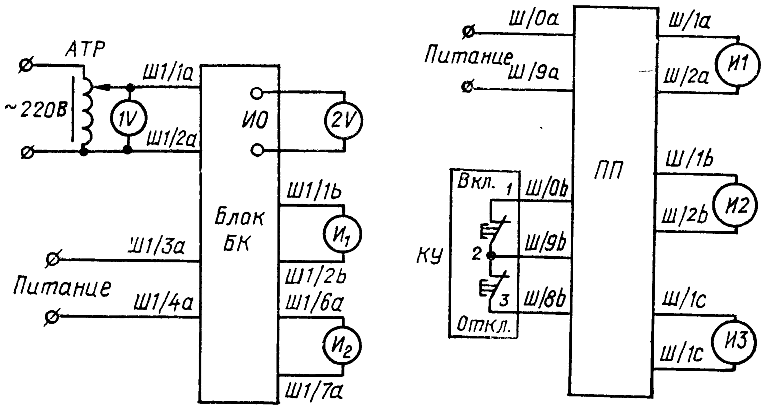


Рис. XVIII.21. Схема проверки работоспособности блока БК устройства АРКОН-1.

Рис. XVIII.22. Схема проверки работоспособности программной приставки устройства АРКОН-1.

в таком состоянии 15 с. Устанавливают уставку «Время» на максимум. Понижают контролируемое напряжение до $0{,}9U_{\text{ном}}$, при этом напряжение на гнездах *ИО* должно быть равным 0 ± 0,3 В. Стрелка омметра $И_1$ должна отклониться через время не менее 4 мин после понижения контролируемого напряжения. Восстанавливают значение контролируемого напряжения, равное номинальному, при этом *2V* должен показывать 0,8 ± 0,3 В. Переключатель «Время» возвращают на нулевую отметку и через 15 с опять устанавливают на максимум. Повышают контролируемое напряжение до $1{,}1U_{\text{ном}}$, при этом показания вольтметра *2V* должны быть равны 1,5 ± 0,3 В. Стрелка омметра $И_2$ должна отклониться через время не менее 4 мин после увеличения напряжения.

В случае необходимости установку нуля срабатывания нуль-органа производят при отключенном контролируемом напряжении и положении потенциометра «Зона» на нуле. Закорачивают конденсатор *C5*, подают напряжение питания и, поворачивая ось переменного резистора *R51*, добиваются того, чтобы стрелка вольтметра *2V* колебалась между отметками шкалы 0 ± 0,3 В и 1,5 ± 0,3 В. После этого следует зафиксировать положение оси переменного резистора *R51* и расшунтировать конденсатор *C5*.

Проверка работоспособности программной приставки (ПП) производится по схеме, приведенной на рис. XVIII.22. На схеме обозначены *КУ* — кнопка управления, $И_1$, $И_2$, $И_3$ — индикаторы омметра, *Ш* — разъем.

Проверка производится в следующем порядке. Нажимают 3 раза кнопку «Откл», при этом стрелки омметров не должны отклоняться Нажимают кнопку «Вкл»; после первого нажатия отклоняется стрелка $И_1$, после второго — $И_2$, после третьего — $И_3$, при дальнейших нажатиях изменений быть не должно. Нажимают кнопку «Откл»; стрелки индикаторов должны возвращаться в обратном порядке ($И_3$, $И_2$, $И_1$); на четвертое и последующие нажатия индикаторы не должны реагировать.

При кратковременном соединении контактов *Ш/6c* и *Ш/7b* стрелки всех индикаторов должны отклоняться; на соединение контактов *Ш/6c* и *Ш/0c* индикаторы не должны реагировать.

Проверочный расчет параметров настройки. Формулы, предлагаемые заводом-изготовителем для проверочного расчета уставок по параметру регулирования ($U_{пар}$, $I_{пар}$), зоне нечувствительности ($U_з$) и коэффициенту компенсации ($k_к$), приведены в табл. XVIII.2.

Приняты следующие обозначения:

$\underset{*}{U}_{макс}$ — максимальное значение напряжения при минимальной нагрузке на шинах, к которым присоединена конденсаторная установка, в долях номинального;

$\underset{*}{I}_{р.\,мин}$ ($\underset{*}{I}_{р.\,макс}$) — реактивный ток нагрузки в минимальном (максимальном) режиме, приведенный к номинальному току цепи компенсации;

$k_{зап}$ — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2—1,5;

$\Delta \underset{*}{I}_{к.\,ном}$ — номинальный ток регулируемой части конденсаторной батареи, приведенной к номинальному току цепи компенсации;

$\underset{*}{I}_{н.\,а}$ — активная составляющая тока нагрузки в минимальном режиме работы, приведенная к номинальному току цепи компенсации;

$x_с$ — сопротивление сети, приведенное к базисному сопротивлению, равному $x_б = \frac{U_{ном}}{I_{ном}}$, где $U_{ном}$ и $I_{ном}$ — соответственно номинальное напряжение и ток на входе устройства;

$\Delta \underset{*}{U}_{макс}$ — максимальное изменение контролируемого напряжения при отсутствии регулирования, в долях номинального;

$\Delta \underset{*}{I}_{р.\,макс}$ — максимальное изменение реактивной составляющей контролируемого тока при отсутствии регулирования, в долях номинального тока цепи компенсации.

Пример. К шинам 380 В подключена конденсаторная установка общей регулируемой мощностью $Q = 450$ квар $\left(\Delta I_{к.\,ном} = \frac{Q}{\sqrt{3}U_л} = \frac{450 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 682\ А\right)$; максимальное и минимальное значения напряжения без регулирования 410 и 370 В; максимальное и минимальное значения реактивной составляющей тока нагрузки 700 и 200 А; коэффициент трансформации трансформатора тока $k_{т.\,т} = \frac{1000}{5} = 200$; сопротивление сети $x_с = 5$ Ом. Применена схема регулирования по напряжению с компенсацией нескомпенсированным реактивным током. Определяем исходные

Таблица XVIII.2. **Формулы для проверочного расчета уставок устройства АРКОН-1**

Способ регулирования	Уставки		
	параметра регулирования, %	зоны нечувствительности $U_з$, %	коэффициента компенсации $k_к$
По напряжению с компенсацией общим реактивным током	$U_{пар} = (U_{*макс} - k_к I_{*р.\,мин}) \times 100$	$k_{зап}(x_с + k_к) \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	$\dfrac{\Delta U_{*макс} + x_с \Delta I_{*к.\,ном}}{\Delta I_{*р.\,макс} - \Delta I_{*к.\,ном}}$
По реактивному току	$I_{пар} = \frac{1}{2} k_{зап} \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	$k_{зап} \Delta I_{*к.\,ном} \times 100$	0,4
По напряжению с компенсацией активным током	$U_{пар} = (U_{*макс} - k_к I_{*н.\,а}) 100$	$k_{зап} x_с \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	$\dfrac{\Delta U_{*макс} + x_с \Delta I_{*к.\,ном}}{\Delta I_{*н.\,а}}$
По напряжению с компенсацией реактивным нескомпенсированным током нагрузки	$U_{пар} = (U_{*макс} - k_к I_{*р.\,макс}) \times 100$	$k_{зап} x_с \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	$\dfrac{\Delta U_{*макс} + x_с \Delta I_{*к.\,ном}}{\Delta I_{*р.\,макс}}$
По напряжению с компенсацией током конденсаторной батареи	$U_{пар} = U_{*макс} 100$	$k_{зап}(x_с - k_к) \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	$\dfrac{\Delta U_{*макс}}{\Delta I_{*к.\,ном}} - x_с$
По коэффициенту мощности	$U_{пар} = 100$	$k_{зап} \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	0,4
По напряжению	$U_{пар} = U_{*макс} 100$	$k_{зап} x_с \times \Delta I_{*к.\,ном} 100$	0

данные для расчета Выбираем отпайку токового входа 3,75 А и напряжение входа 380 В.

Определяем приведенные значения следующих величин:

$$\underset{*}{U}_{макс}=\frac{410}{380}=1{,}08;\quad \Delta\underset{*}{I}_{р.\,макс}\frac{700-200}{200\cdot 3{,}75}=0{,}667;$$

$$\Delta\underset{*}{U}_{макс}=\frac{370-410}{380}=-0{,}105;\quad \Delta\underset{*}{I}_{к.\,ном}=\frac{682}{200\cdot 3{,}75}=0{,}91;$$

$$x_c=\frac{5\cdot 3{,}75}{380}=0{,}05;\quad \underset{*}{I}_{р.\,макс}=\frac{700}{200\cdot 3{,}75}=0{,}93.$$

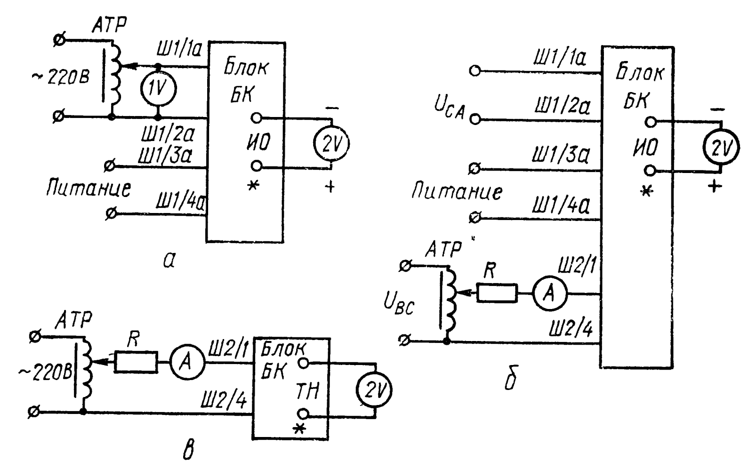


Рис. XVIII.23. Схемы включения блока БК для установки выбранных уставок.

Определим уставки:

$$k_к=\frac{-0{,}105+0{,}05\cdot 0{,}91}{0{,}667}=-0{,}090;$$

$$U_{пар}=(1{,}08+0{,}090\cdot 0{,}930)\,100=116{,}4\,\%;$$

$$U_з=1{,}2\cdot 0{,}05\cdot 0{,}91\cdot 100=5{,}46\,\%.$$

Уставку по времени устройства выбирают не менее 2—3 мин с целью обеспечения разряда конденсаторов.

Установка выбранных уставок настроечных элементов. Для установки параметра регулирования по напряжению собирают схему, приведенную на рис. XVIII.23,*а*. На схеме обозначены *АТР* — регулировочный автотрансформатор; *1V* — вольтметр переменного тока на 120 В класса 1,0; *2V* — вольтметр постоянного тока на 3 В, с входным сопротивлением 30 кОм, класса 4. Перемычку П1 устанавливают в положение 100 В. Подают на вход выбранное напряжение уставки $U_{пар}$, пересчитанное на 100 В по формуле

$$U=U_{пар}\frac{100}{U_{ном}},$$

где $U_{ном}$ — номинальное напряжение на шинах, В. Потенциометр «Зона» устанавливают в положение 0. Ручки «Уставка ступенчато» и «Уставка плавно» устанавливают в положение на границе срабатывания, т. е. когда стрелка вольтметра *2V* колеблется между показаниями 0,8 ± 0,3 В и 1,5 ± 0,3 В. Положение ручек уставок фиксируют. Перемычку П1 возвращают в положение, соответствующее номинальному значению контролируемого напряжения.

При необходимости можно откорректировать настройку по напряжению, вскрыв блок *БК* и воздействуя на потенциометр *R30*.

Для установки параметра регулирования по реактивному току собирают схему, приведенную на рис.XVIII.23,*б*. На схеме обозначены *АТР* и *2V* — те же, что на позиции *а*; *R* —резистор 5—10 Ом, 100 Вт; *А* — амперметр переменного тока на 2,5А, класса 1,0; напряжение на *АТР* подают с фаз *В* и *С*, а на клеммы разъема *Ш1/1а* и *Ш1/2а* — с фаз *С* и *А*. Штекер Шт1 вставляют в гнездо «I_{ra}». Ручку компенсации устанавливают на максимум. На вход блока подают ток

$$I = I_{пар} \frac{2,5}{100}.$$

Ручки «Уставка ступенчато» и «Уставка плавно» устанавливают в положение на границе срабатывания. При необходимости корректировку производят потенциометром *R27*.Для установки ручки «Компенсация» при регулировании по напряжению с компенсацией по реактивному или активному току собирают схему, приведенную на рис. XVIII.23,*в*. На схеме обозначены: *АТР*, *R*, *А* — те же, что на позиции *б*; вольтметр постоянного тока *2V* на 30 В включен на клеммы ТН. Штекер Шт1 вставляют в гнездо «I_{ra}». Увеличивая ток, добиваются, чтобы при положении ручки «Компенсация» на максимуме напряжение на клеммах ТН было равно 20 В. Затем, не меняя значение тока, поворачивают ручку «Компенсация» против часовой стрелки до тех пор, пока вольтметр *2V* не покажет напряжение

$$U_у = 50k_к;$$

где $k_к$ — выбранное значение коэффициента компенсации.

Фиксируют положение ручки «Компенсация». Затем штекер Шт1 устанавливают в гнездо «I_{ac}» при компенсации по активному току и оставляют в гнезде «I_{ra}» во всех остальных случаях компенсации.

При установке выбранной уставки «Зона» при регулировании по напряжению собирают схему, приведенную на рис. XVIII.23,*а*. Изменяя положение ручки «Зона» и регулируя напряжение на входе, добиваются необходимой разности напряжений верхней и нижней границ зоны нечувствительности, так чтобы

$$U_з = U_в - U_н,$$

где $U_в$ — напряжение верхней границы, при котором стрелка вольтметра *2V* колеблется от 0,8 ± 0,3 В до 1,5 ± 0,3 В; $U_н$ — напряжение нижней границы, при котором стрелка вольтметра *2V* колеблется от 0 ± 0,3 В до 0,8 ± 0,3 В. При необходимости регулировки зоны воздействуют на *R28*.Аналогично устанавливают выбранную уставку «Зона» при регулировании по реактивному току, пользуясь схемой, приведенной на рис. XVIII.23,*б*, и выражением

$$\frac{2,5}{100} I_з = I_в - I_н,$$

где $I_в$ и $I_н$ — соответственно токи верхней и нижней границы зоны нечувствительности. При необходимости регулировки зоны нечувствительности воздействуют на резистор *R31*. Выбранная уставка по времени устанавливается с помощью пружинного секундомера.

Испытание и наладка автоматического регулятора реактивной мощности при работающей конденсаторной установке включают обычно следующие операции.

1. Искусственное создание максимального и минимального режимов работы оборудования и проверку действия автоматического устройства.

2. Имитацию изменения коэффициента мощности с помощью фазорегулятора и проверку срабатывания контакторов.

3. Проверку точности поддержания коэффициента мощности или другого регулируемого параметра с помощью регистрирующих приборов и счетчиков активной и реактивной энергии.

Устройства автоматического повторного включения (АПВ)

Согласно ПУЭ, устройства АПВ должны устанавливаться для быстрого восстановления питания потребителей электроэнергии путем автоматического включения выключателей, отключенных релейной защитой или самопроизвольно.

Устройствами АПВ должны быть оборудованы: 1) воздушные и смешанные (кабельно-воздушные) линии всех типов напряжением выше 1000 В. На кабельных линиях напряжением 35 кВ и ниже АПВ рекомендуется применять, когда на линии имеется несколько промежуточных сборок или подстанций, а также с целью исправления неселективного действия защиты; 2) шины электростанций и подстанций, если имеется специальная защита шин; 3) понижающие трансформаторы (одиночные) мощностью более 1000 кВ · А, если их отключение приводит к обесточению электроустановок потребителей; 4) ответственные электродвигатели, отключаемые для обеспечения самозапуска других электродвигателей.

К устройствам АПВ предъявляют следующие требования. Должно обеспечиваться надежное однократное (или, если предусмотрено проектом, двух — трехкратное) повторное включение выключателя после его аварийного отключения. АПВ не должно происходить при оперативном отключении выключателя, а также при срабатывании релейной защиты сразу же после оперативного включения его. АПВ должно происходить не мгновенно, а с некоторой (определенной расчетным путем) выдержкой времени.

Устройства АПВ следует выполнять так, чтобы была исключена возможность многократного включения на короткое замыкание при любой неисправности в его схеме. Должны быть предусмотрены ускорение действия релейной защиты после АПВ, автоматический возврат устройства и учет срабатываний его. Наряду с трехфазными устройствами АПВ однократного действия без блокировок — ТАПВ находят применение однофазные — ОАПВ, быстродействующие — БАПВ, несинхронные — НАПВ, с улавливанием синхронизма — ТАПВУС, с автоматической самосинхронизацией — АПВС, с контролем отсутствия напряжения на включаемой линии — ТАПВОН, после действия автоматической частотной разгрузки — ЧАПВ и др.

Устройства ТАПВ должны осуществляться, как правило, с пуском от цепи несоответствия включенного положения ключа управления и отключенного выключателя, но допускается также пуск от реле защиты.

На рис. XVIII.24 приведена схема АПВ линии, применяющаяся в электроустановках с постоянным оперативным током и для выключателей с электромагнитным приводом В основу схемы положено комп-

Рис. XVIII.24. Схема АПВ на постоянном оперативном токе.

лексное устройство *РПВ-58*, включающее в себя реле времени *KT*, двухобмоточное промежуточное реле *KL*, конденсатор *C* (20 мкФ), обеспечивающий однократность действия и возврат АПВ, резисторы *R1*, зарядный *R2* (1,1 МОм) и разрядный *R3* (0,5 МОм). В схему входит также ключ управления *SA*, промежуточные реле *KL1*, *KQT*, *KQC*, *KBS*, указательное реле *KH*, вспомогательные контакты выключателя *Q*, обмотки контактора включения *KM* и отключения выключателя *YAT*, резисторы *R4*, *R5*.

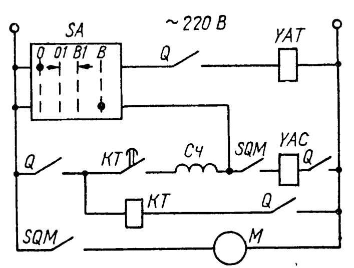


Рис. XVIII.25. Схема АПВ на переменном оперативном токе.

Схема АПВ однократного действия для линии, оборудованной выключателем с пружинным приводом, приведена на рис. XVIII.25. На схеме обозначены: *SA* — ключ управления, *YAC* и *YAT* — катушки включения и отключения, *Q* — вспомогательные контакты выключателя и привода, *SQM* — контакты готовности привода, *KT* — реле времени, *M* — автома-

тический моторный редуктор, *Сч* — счетчик срабатываний. АПВ срабатывает при появлении в цепи несоответствия положений выключателя и привода.

Проверочный расчет уставок по времени устройства АПВ. Для простейших устройств АПВ, схемы которых приведены на рис. XVIII. 24 и XVIII.25, так же, как и для многих других устройств однократного действия без блокировок, производится проверочный расчет длительности отключенного состояния выключателя, уставки реле времени АПВ ($t_{АПВ}$) и времени возврата устройства в исходное состояние $t_в$.

В качестве уставки реле времени АПВ, выполненного по схемам рис. XVIII.24 и XVIII.25, принимается большее из двух значений $t_{АПВ}$:

$$t_{АПВ1} = t_{г.\,п} + t_{зап}, \qquad (XVIII.14)$$

$$t_{АПВ2} = t_{д.\,с} + t_{зап}, \qquad (XVIII.15)$$

где $t_{г.\,п}$ — время, необходимое для подготовки механизма привода к повторному действию (готовности привода), с; $t_{д.\,с}$ — время, необходимое для деионизации среды после погасания электрической дуги (для линий напряжением 35 кВ $t_{д.\,с}$ принимается равным 0,07 с; для 110 кВ — 0,15 с; для 220 кВ — 0,30 с); $t_{зап}$ — время запаса, учитывающее погрешность в определении $t_{г.\,п}$ и $t_{д.\,с}$ (принимается равным 0,1—0,15 с).

Если пуск устройства АПВ осуществляется от релейной защиты, к правой части выражений (XVIII.14) и (XVIII.15) добавляют слагаемое $t_{о.\,в}$ — длительность отключения выключателя (время от момента подачи импульса на отключение до остановки траверсы). Выдержка времени $t_{АПВ}$ для линий напряжением 3—35 кВ приближенно должна быть равной 0,3—0,5 с, для линий 110—120 кВ — 0,5—0,6 с. Время возврата устройства АПВ в исходное состояние $t_в$ определяется из соотношения

$$t_в \geqslant t_{р.\,з} + t_{о.\,в} + t_{зап} + t_{в.\,в} + t_{АПВ},$$

где $t_{р.\,з}$ — время действия наиболее медленной релейной защиты, отключающей выключатель после действия АПВ; $t_{зап}$ — время запаса, принимаемое в этом случае равным 0,7—1 с; $t_{в.\,в}$ — длительность включения выключателя от момента подачи импульса до остановки траверсы. Время возврата должно быть не меньше 10 с.

Для устройства АПВ, схема которого приведена на рис. XVIII.24, время возврата вычисляют по формуле

$$t_в = t_{р.\,з} + t_{о.\,в} + t_{зап},$$

так как конденсатор начинает заряжаться только после включения выключателя. При этом зарядное сопротивление определится как

$$R2 \doteq \frac{t_в}{C \ln \dfrac{U_б}{U_б - U_{ср}}} \ [МОм],$$

где C — емкость конденсатора, мкФ; $U_б$ — напряжение цепей оперативного тока, В; $U_{ср}$ — напряжение срабатывания реле KL, В.

Проверка и наладка устройств АПВ проводятся в следующем объеме: а) внешний осмотр, проверка механической части приводов, измере-

ние сопротивления и испытание изоляции, проверка элементов схемы, реле (РПВ-58, РПВ-69, РПВ-258, РП, РВ) (см. гл. XVII), конденсаторов и др., проверка схемы соединений и маркировки; б) проверочный расчет и регулировка уставок реле и других элементов времени АПВ; в) проверка взаимодействия элементов схемы; г) опробование работы устройства АПВ совместно с выключателями, релейной защитой и схемой управления путем создания или имитации режимов, при которых возможна проверка выполнения всех требований, предъявляемых к АПВ.

Устройства автоматического включения резервного питания и оборудования (АВР)

Согласно ПУЭ, устройства АВР должны устанавливаться для восстановления питания потребителей при отключении рабочего источника и для автоматического включения резервного оборудования, если отключение основного оборудования приводит к нарушению технологического процесса.

Различают следующие виды устройств АВР: для линий, трансформаторов, шин, электродвигателей и т. п.; местные и сетевые (последние работают в сочетании с делительной автоматикой, блокировкой и др.); одностороннего и двустороннего действия; в первом случае один из источников питания постоянно является рабочим, а другой — резервным, во втором — питающие элементы являются одновременно и рабочими и резервными по отношению друг к другу (т. е. находятся в неявном резерве); на постоянном и переменном оперативном токе.

Требования, предъявляемые к устройствам местных АВР.

1. Действие АВР должно быть обеспечено при исчезновении напряжения на резервируемом участке по любой причине (в том числе и при коротком замыкании на нем).

2. Пусковой орган АВР, содержащий элемент минимального напряжения для определения исчезновения напряжения на резервируемом участке, должен быть выполнен таким образом, чтобы при перегорании одного из предохранителей в его цепи (или при отключении автоматического выключателя) исключалась ложная работа АВР.

3. Должны обеспечиваться быстрота и однократность действия АВР.

4. Пусковой орган АВР не должен срабатывать при кратковременных снижениях напряжения.

5. Перед АВР должно быть обеспечено отключение рабочего питающего элемента от потребителей.

6. При действии АВР, когда возможно включение выключателя резервного питающего элемента на короткое замыкание, как правило, должно обеспечиваться ускорение действия его защиты.

7. У выключателей, на которые действуют электрические устройства АВР, должен быть предусмотрен контроль целости цепи включения.

8. Должен обеспечиваться контроль наличия напряжения на резервном питающем элементе во избежание срабатывания АВР.

На рис. XVIII.26 приведена схема устройства АВР на постоянном оперативном токе. Реле напряжения пускового органа служат соответственно для контроля напряжения на резервируемых (*KU1*) и питающих (*KU2*) шинах; реле времени *KT* предотвращает отключение рабочего питающего элемента (трансформатора *T1*) при кратковременных снижениях напряжения; промежуточное реле *KL1* обеспечивает отключение обоих выключателей *Q1* и *Q2* трансформатора *T1*. Одно-

кратность АВР обеспечивает магнитное реле времени с замедлением на отпадание *KL2*; через его контакты, вспомогательные контакты выключателя *Q2* и промежуточное реле *KL3* обеспечивается включение выключателей *Q3* и *Q4* резервного трансформатора *T2*.

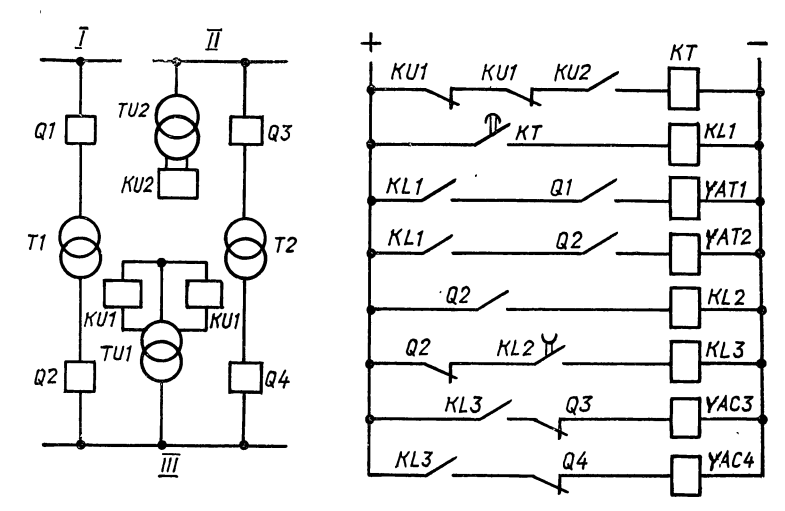


Рис. XVIII.26. Схема АВР на постоянном оперативном токе.

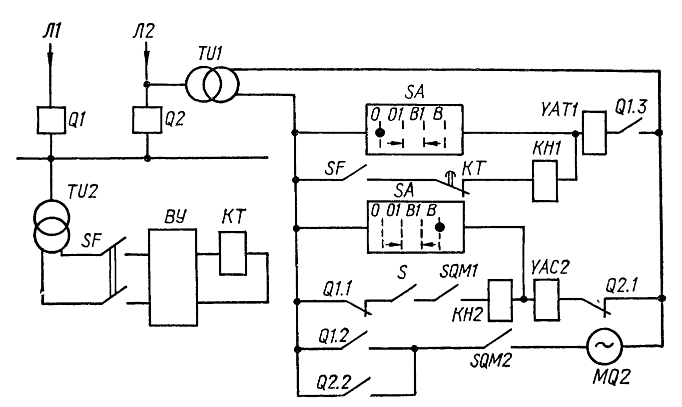


Рис. XVIII.27. Схема АВР на переменном оперативном токе.

На рис. XVIII.27 приведена схема АВР резервной линии (*Л2*) подстанции на переменном оперативном токе. Шинный трансформатор напряжения *TU2*, автоматический выключатель *SF*, выпрямительное устройство *ВУ* и магнитное реле времени *KT* образуют пусковой орган. На схеме АВР, получающей питание от трансформатора напряжения резервной линии *TU1*, обозначены *SA* — ключ управления, *YAT1* — катушка отключения линии *Л1*, *YAC* — катушка включения резервного выключателя *Q2*, *Q1.1*, *Q2.1*, *Q1.2*, *Q2.2*, *Q1.3* — вспомогательные

контакты выключателей $Q1$ и $Q2$, SQM — контакты готовности привода выключателя $Q2$, S — отключающее устройство (накладка), $MQ2$ — автоматический моторный редуктор привода $Q2$.

Проверка и наладка устройства АВР производятся в том же объеме, что и устройства АПВ.

Проверочный расчет уставок реле устройства АВР. Напряжение срабатывания $U_{ср1}$ реле минимального напряжения пускового органа $KU1$ обычно выбирают равным (или меньшим) 25 % номинального, так как они должны контролировать не снижение, а исчезновение напряжения на шинах:

$$U_{ср1} \leqslant \frac{0{,}25U_{ном}}{k_{т.\,н}},$$

где $k_{т.\,н}$ — коэффициент трансформации ТН. В отдельных случаях для предотвращения ненужных срабатываний реле $KU1$ при коротких замыканиях на отходящих фидерах за реакторами (а также при самозапуске электродвигателей) и вынужденного в связи с этим увеличения выдержки реле времени уставки реле $KU1$ принимают меньшими, чем остаточное напряжение на контролируемых шинах $U_{к.\,з}$:

$$U_{ср1} \leqslant \frac{U_{к.\,з}}{k_{т.\,н}}.$$

Условием выбора уставки реле $KU2$ $U_{ср2}$ является несрабатывание его при минимальном рабочем напряжении на шинах резервного питающего элемента $U_{раб.\,мин}$:

$$U_{ср2} = \frac{k_{в}U_{раб.\,мин}}{k_{н}k_{т.\,н}},$$

где $k_{в}$ — коэффициент возврата реле (0,85); $k_{н}$ — коэффициент надежности (1,1—1,2). Обычно минимальное рабочее напряжение принимается на 10 % меньше, чем номинальное напряжение на шинах. Выдержку реле времени $t_{р.\,в}$ выбирают большей, чем выдержка времени каждой из релейных защит $t_{р.\,з}$ от коротких замыканий, приводящих к таким снижениям напряжения на резервируемых шинах, при которых срабатывают реле минимального напряжения $KU1$:

$$t_{р.\,в} \geqslant t_{р.\,з} + t_{зап},$$

где $t_{зап}$ — время запаса (обычно 0,5 с). Если в устройстве АВР в качестве реле однократности включения ОВ применено магнитное реле времени уставку его определяют как

$$t_{о.\,в} \geqslant t_{в.\,в} + t_{зап},$$

где $t_{в.\,в}$ — время включения выключателя.

Автоматизация включения синхронных генераторов на параллельную работу

Применяют два способа включения СГ на параллельную работу — точную синхронизацию и самосинхронизацию. В первом случае должны быть обеспечены равенство напряжений СГ и системы с точностью

до 5 %, равенство частот с точностью до 0,1—0,2 Гц и совпадение фаз напряжений с учетом времени включения выключателя. Во втором случае, так как СГ включается в невозбужденном состоянии, требуется перед включением обеспечить только равенство частот с точностью 1,5 Гц и после включения — подачу возбуждения. Различают ручную, полуавтоматическую и автоматическую синхронизации.

Согласно ПУЭ, при включении в нормальных неаварийных условиях способ точной автоматической или полуавтоматической синхронизации обязательно применяется только для: турбогенераторов с непосредственным охлаждением обмоток; гидрогенераторов мощностью более 50 000 кВт и турбогенераторов с косвенным охлаждением обмоток мощностью более 3000 кВт, если значение периодической составляющей переходного тока при включении способом самосинхронизации превосходит 3,5 номинального. Для всех остальных синхронных генераторов в нормальных условиях, а также для указанных выше СГ в аварийных условиях должен применяться способ самосинхронизации.

Устройство полуавтоматической синхронизации, предназначенное как для одного, так и для другого способа, обеспечивает автоматическое определение условий, при которых допустимо включение СГ, и подачу при их соблюдении команды на автоматическое включение выключателя при точной синхронизации или возбуждения при самосинхронизации. Устройство автоматической синхронизации, кроме того, обеспечивает автоматическую подгонку частоты и напряжения.

Устройство полуавтоматической самосинхронизации

Широкое распространение на электростанциях получило устройство полуавтоматической самосинхронизации, выполненное на базе серийно выпускаемого двухобмоточного реле разности частот ИРЧ-01А. Технические характеристики реле ИРЧ-01А: номинальное напряжение на обмотке II 100 В; рабочий ток обмотки I 55 ± 15 мА; номинальная частота 50 Гц; допустимое изменение частоты сети 40—60 Гц; потребляемая мощность обмотки II 35 В · А; омическое сопротивление обмотки I 0,15 Ом; разность частот, при которой реле срабатывает при номинальном напряжении на обмотке II и токе в обмотке I, составляет 1 Гц; при изменении напряжения на обмотке II в пределах 50—120 В и токе в обмотке I от 35 до 100 мА разность частот, при которой срабатывает реле,— 0,35—1,8 Гц; предельно допустимая скорость изменения разности частот, при которой надежно срабатывает реле, приведена ниже.

Допустимая скорость изменения разности частот, Гц/с	0,08	0,5	1,0	2	4,5
Разность частот срабатывания, Гц	0,2	0,5	0,7	1,0	1,5

Максимальная разность частот, при которой еще возможно автоматическое включение генератора, может регулироваться с помощью резистора, включаемого в цепь обмотки I, значение которого зависит от остаточного напряжения генератора и определяется экспериментально.

На рис. XVIII.28 в качестве примера приведена схема устройства полуавтоматической самосинхронизации. Для предотвращения кратковременного замыкания контактов реле разности частот *KF* (*ИРЧ-01А*), возникающего при одновременном подключении его обмоток I и II, сначала подключают обмотку II к шинному трансформатору напряжения *TU2*, а затем через проскальзывающий контакт реле *KT* (выдержка времени 3—5 с) и промежуточное реле *KL3* — обмотку I к генера-

торному трансформатору напряжения *TU1*. При достижении допустимой разности частот контакты реле *KF* замыкаются и включают промежуточное реле *KL1*, которое посылает команду на включение выключателя *Q1* и через его вспомогательные контакты — АГП генератора *G*. Реле *KL2* с выдержкой времени при возврате обеспечивает кратковременность подачи команды на включение. После подачи возбуждения реле *KL3* отключает обмотку I реле *KF* для исключения опасного воздействия на нее номинального напряжения генератора. Реле напряжения *KU* служит для предотвращения срабатывания устройства при ошибочном возбуждении СГ до включения его выключателя.

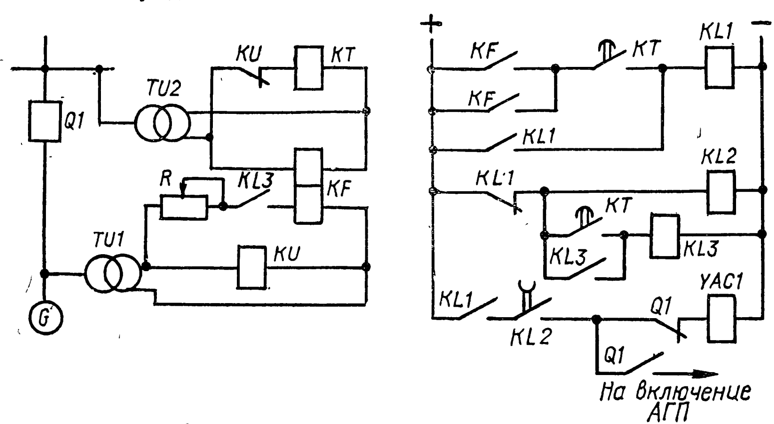


Рис. XVIII.28. Схема полуавтоматической самосинхронизации СГ.

В объем проверки и наладки устройства полуавтоматической самосинхронизации кроме общих испытаний входят: а) проверка реле *KF*, *KU*, *KT* и *KL*; б) проверочный расчет периодической составляющей переходного тока по выражению

$$I_{вкл} = \frac{1}{x''_d + x_c},$$

где x''_d — сверхпереходное сопротивление генератора по продольной оси, x_c — приведенное к мощности генератора сопротивление системы; в) опробование работы схемы при имитации режимов и замыкании контактов реле от руки; г) опытная проверка правильности работы устройства на вращающемся СГ при отключенных разъединителях; одновременно устанавливают требуемую разность частот реле *KF* с помощью сопротивления *R*; д) пробная трехкратная полуавтоматическая самосинхронизация с осциллографированием при необходимости токов и напряжений статора и возбуждения (в первую очередь с целью определения переходного тока обмотки статора).

Устройства полуавтоматической точной синхронизации

Для обеспечения включения СГ с допустимым толчком уравнительного тока (обычно не более 200 % номинального) необходимо, как указывалось выше, с требуемой точностью выровнять напряжения и

частоты генератора и сети, а также подать команду на включение выключателя. Время опережения подачи команды на включение выключателя обычно контролируют косвенно по напряжению биения (разности напряжений генератора и сети). Мгновенное значение напряжения биения определяется по формуле

$$u_s = u_1 - u_2 = U_{1\,\text{макс}} \sin \omega_1 t - U_{2\,\text{макс}} \sin \omega_2 t. \qquad \text{(XVIII.16)}$$

Принимая амплитудные значения напряжений системы $U_{1\,\text{макс}}$ и генератора $U_{2\,\text{макс}}$ равными друг другу, выражение (XVIII.16) можно представить в виде

$$u_s = 2U_{\text{макс}} \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t,$$

где ω_1 и ω_2— угловые скорости вращения векторов напряжения соответственно сети и генератора, $с^{-1}$. Эффективное значение напряжения биения, которое может быть измерено нулевым вольтметром, определяется выражением

$$U_s = 2U \sin \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t$$

или

$$U_s = 2U \sin \frac{\Delta\omega}{2} t = 2U \sin \pi \Delta f t, \qquad \text{(XVIII.17)}$$

где Δf — разность частот сети и СГ, Гц. Как следует из выражения (XVIII.17), если вместо t подставить время включения выключателя $t_в$, то по напряжению биения U_s, соответствующему $t_в$, можно косвенно контролировать время опережения при постоянном значении (равном заданному) разности частот Δf. Если же Δf непостоянно, то напряжение биения U_s определяется углом опережения $\delta_{оп}$:

$$\delta_{оп} = \pi \Delta f t_в.$$

Различают устройства полуавтоматической синхронизации двух типов: с постоянным углом опережения и с постоянным временем опережения; кроме того, применяют устройства блокировки при синхронизации СГ на базе реле контроля синхронизма типа РН-55 (см. гл. XVII).

На рис. XVIII.29 приведена схема *синхронизатора с постоянным углом опережения*, выполненная на типовых реле напряжения *KU1*, *KU2* (контролирующих напряжение биения), времени *KT* и промежуточных *KL1*, *KL2*. Если разность частот генератора и сети достаточно мала, то при приближении напряжения биения к нулевому значению реле *KT*, включенное контактами *KU1* (имеющим бо́льшую уставку, чем *KU2*), успеет сработать прежде, чем *KU2*, и включение генератора произойдет; в противном случае цепь включения реле *KL2* не замкнется и генератор не включится.

Проверочный расчет уставок реле производится в такой последовательности. Максимально допустимая при синхронизации разность частот определяется по выражению

$$\Delta f_д = \frac{\arcsin [0{,}28\,(x''_d + x_с)\, I_д]}{\pi t_в} \ [\text{Гц}],$$

где x''_d и $x_с$ — сверхпереходное сопротивление генератора и приведенное к его мощности сопротивление системы, отн. ед.; $I_д$ — допустимый тол-

чок уравнительного тока при синхронизации, в долях номинального; $t_в$ — время включения выключателя, с.

Уставки реле напряжения *KU1* и *KU2* рассчитывают по формулам

$$U_{ср1} = 2\frac{U_{ном}}{k_{т.\,н}} \sin [\pi\, \Delta f_д (t_{р.\,в} + t_в)] \text{ [В]},$$

$$U_{ср2} = 2\frac{U_{ном}}{k_{т.\,н}} \sin (\pi\, \Delta f_д t_в) \text{ [В]},$$

где $U_{ном}$ — номинальное, или нормальное рабочее напряжение генератора, В; $t_{р.\,в}$ — уставка реле времени *KT*, принимаемая обычно равной 0,3—0,5 с.

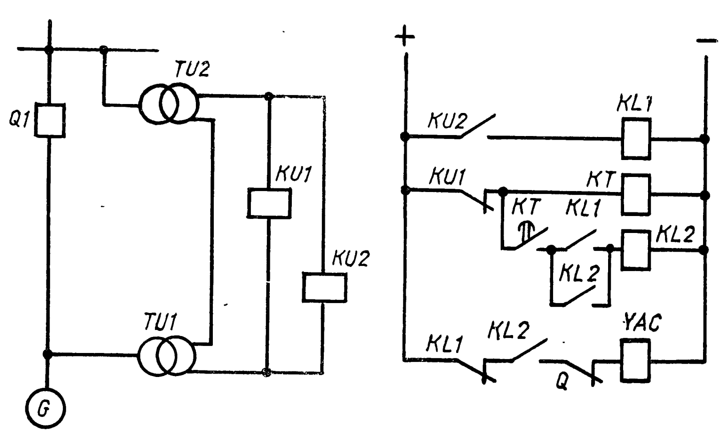


Рис. XVIII.29. Схема синхронизатора с постоянным углом опережения.

Пример. Произвести расчет уставок реле устройства полуавтоматической синхронизации, схема которого приведена на рис. XVIII.29. Исходные данные: $x''_d = 0{,}125$; $x_с = 0{,}06$; $t_в = 0{,}3$ с; $I_д = 2$; вторичное рабочее напряжение генератора $U_{ном} = 105$ В.

Определим параметры настройки. Допустимая разность частот

$$\Delta f_д = \frac{\arcsin [0{,}28\,(0{,}125 + 0{,}06)\,2]}{\pi \cdot 0{,}3} = 0{,}109 \text{ Гц}.$$

Уставка реле *KU2*:

$$U_{ср2} = 2 \cdot 105 \sin (\pi \cdot 0{,}109 \cdot 0{,}3) = 21{,}6 \text{ В}.$$

Уставка реле времени $t_{р.\,в} = 0{,}4$ с.

Уставка реле *KU1*:

$$U_{ср1} = 2 \cdot 105 \sin [\pi \cdot 0{,}109\,(0{,}4 + 0{,}3)] = 51{,}7 \text{ В}.$$

На рис. XVIII.30 приведена структурная схема *синхронизатора с постоянным временем опережения.* По такой схеме выполнены син-

хронизаторы типов АСТ-4, УБАС и др. На схеме обозначены узлы: *УО* — опережения; *УКРН*—контроля разности напряжения; *УКРЧ* — контроля разности частот; *УПЧ* — подгонки частот и *УВ* — включения.

Узел опережения состоит из выпрямительных и дифференцирующего элементов, а также нуль-органа (поляризованного реле и др.), на входе которого суммируются напряжение биения и производная от него, а на выходе при их равенстве образуется команда на включение.

Если напряжение биения составляет (из (XVIII.17))

$$U_s = 2U \sin \pi \Delta f t,$$

а его производная —

$$U_s' = 2Uk\Delta f \cos \pi \Delta f t,$$

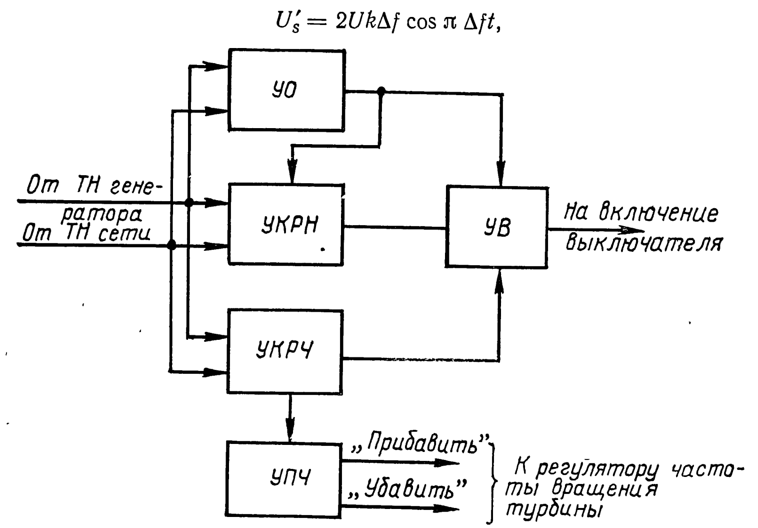


Рис. XVIII.30. Структурная схема синхронизатора с постоянным временем опережения.

где k — постоянный коэффициент передачи дифференцирующего элемента, то при их равенстве ($U_s = U_s'$)

$$\sin \pi \Delta f t = k \Delta f \cos \pi \Delta f t,$$

или

$$\operatorname{tg} \pi \Delta f t = k \Delta f.$$

При малых значениях угла опережения

$$\operatorname{tg} \pi \Delta f t \approx \pi \Delta f t$$

и, следовательно,

$$\pi \Delta f t = k \Delta f,$$

или

$$t = \frac{k}{\pi} = \text{const}.$$

Таким образом, при малых значениях угла время опережения не зависит от разности частот и команда на включение может подаваться с опережением, равным времени включения выключателя.

В объем проверки и наладки устройства полуавтоматической синхронизации, кроме общих испытаний, входят: а) проверка и настройка синхронизатора согласно инструкции завода-изготовителя; б) проверочный расчет допустимой разности частот и уставок; в) проверка и настройка реле напряжения, времени и промежуточных; г) проверка работы устройства при подаче на него напряжения биения по схеме рис. XVIII.31. На схеме обозначены *ФР* — фазорегулятор (может быть использован АД с фазным ротором) с кольцами и щетками на роторе; *РНТ* — трехфазный регулятор напряжения; *Д* — двигатель постоянного тока, приводящий во вращение ротор фазорегулятора; *АТР* — регулировочный автотрансформатор, *ПП* — полупроводниковый выпрямитель; *УАС* — проверяемое устройство полуавтоматической синхронизации; д) опытная проверка работы устройства на вращающемся возбужденном генераторе при отключенных шинных разъединителях (контроль за правильностью работы устройства осуществляется по щитовым синхроноскопу, вольтметрам и частотомерам); е) пробная трехкратная полуавтоматическая синхронизация.

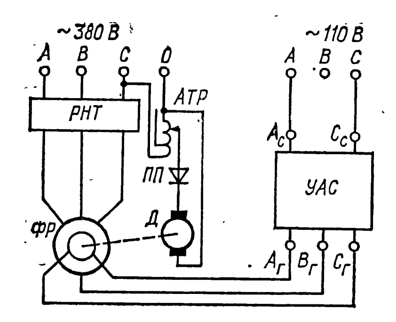


Рис. XVIII.31. Схема проверки УАС при подаче на него напряжения биения.

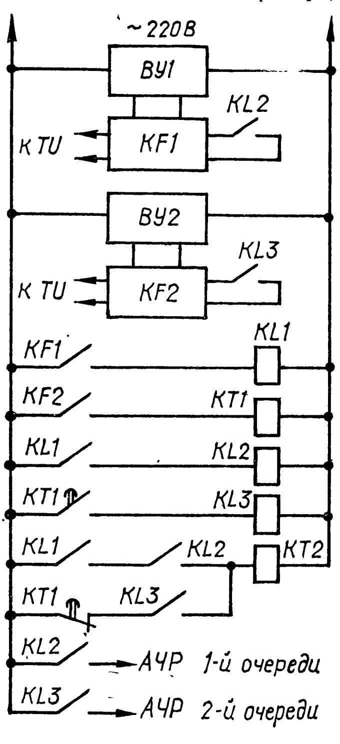


Рис. XVIII.32. Схема АЧР на переменном оперативном токе.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР)

С целью предотвращения аварийного снижения частоты в энергосистеме ПУЭ предусматривают установку ряда автоматических устройств, осуществляющих: а) автоматическую частотную разгрузку; б) автоматический частотный ввод резерва; в) автоматическую дополнительную разгрузку; г) автоматическое включение питания отключенных потребителей при восстановлении частоты (ЧАПВ).

Система автоматического ограничения снижения частоты должна быть выполнена с таким расчетом, чтобы при любом возможном дефиците мощности в энергоузле снижение частоты ниже уровня 45 Гц исклю-

чалось, время работы с частотой ниже 47 Гц не превышало 20 с, а с частотой ниже 48,5 Гц — 60 с.

Автоматическая частотная разгрузка обеспечивает отключение потребителей небольшими группами по мере снижения частоты (АЧРI) или по мере увеличения продолжительности работы при пониженной частоте (АЧРII).

На рис. XVIII.32 приведена схема АЧР, применяемая на подстанциях с переменным оперативным током для линий 6—10 кВ. На схеме обозначены *KF1*, *KF2* — реле частоты типа РЧ-1; *ВУ1*, *ВУ2* — вспомогательные устройства ВУ-3; *KL1* — промежуточное реле РП-25; *KL2*, *KL3* — промежуточные реле РП-12; *KT1*, *KT2* — реле времени ВС-10-32 (*KT2* — реле времени ЧАПВ).

Основным элементом устройства АЧР является реле частоты. Ранее использовались реле восстановления частоты ИВЧ-011 и ИВЧ-3. В настоящее время широкое распространение получили реле частоты РЧ-1. Технические характеристики реле: номинальное напряжение контролируемой сети 100 В; диапазон уставок срабатывания 45—50 Гц, возврата 46—51 Гц; минимальная разность между частотами срабатывания и возврата меньше 0,1 Гц; изменение частоты срабатывания при изменении напряжения в контролируемой сети от 0,2 до $1{,}3U_{ном}$ не более 0,2 Гц; уставки времени срабатывания от 0,15 до 0,5 с.

Сведения по проверке реле частоты ИВЧ-3 и РЧ-1 приведены в гл. XVII.

В объем проверки и наладки АЧР входят: а) внешний осмотр; б) проверка схемы соединений и маркировки; в) измерение сопротивления и испытание изоляции реле и проводки; г) проверка реле частоты, включающая проверку частот срабатывания и возврата на всех уставках при напряжении от 20 до 130 В с помощью генератора технической частоты (ГТЧ); д) проверка промежуточных реле и реле времени; е) опробование работы устройства при замыкании контактов реле частоты от руки.

Глава XIX

ВОПРОСЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

Техника безопасности при выполнении испытательно-наладочных работ в электроустановках

Наладочные работы, так же как и другие виды работ в действующих электроустановках, должны выполняться в строгом соответствии с «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

К производству наладочных работ (как и других работ в действующих электроустановках) допускаются лица, прошедшие в установленные сроки медицинское освидетельствование, знающие правила и инструкции по технике безопасности применительно к занимаемой должности или выполняемой работе, прошедшие обучение безопасным методам работы на рабочем месте под руководством опытного работника и проверку знаний в квалификационной комиссии с присвоением определенной квалификационной группы, обученные приемам освобождения пострадавшего от электрического тока и правилам оказания первой помощи пострадавшим. При производстве работ в действующих электроустановках командированный персонал должен также руководствоваться требованиями «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок» для командированного персонала.

Помимо общих правил техники безопасности и правил пользования и испытания защитных средств лицам, выполняющим пусконаладочные работы, необходимо знать специальные правила, обусловленные спецификой этих работ.

Работы в цепях измерительных приборов, релейной защиты и автоматики

Для безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики, все вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) должны иметь постоянное заземление. При необходимости разрыва токовой цепи цепь вторичной обмотки ТТ должна быть предварительно закорочена на специально предназначенных для этого зажимах. При проверке полярности обмоток ТТ приборы должны быть надежно присоединены к зажимам вторичных обмоток до подачи импульса тока в первичную обмотку.

Шины первичных цепей ТТ нельзя использовать в качестве токоведущих цепей при выполнении сварочных и других работ; присоединение к зажимам ТТ вторичных цепей должно проводиться после окончания монтажа этих цепей.

При работах во вторичных цепях необходимо пользоваться специальным электротехническим инструментом с изолированными руч-

ками: металлический стержень отверток должен быть изолирован от ручки до жала отвертки. При включенном основном оборудовании должны быть приняты меры против его случайного отключения. На панелях или вблизи места размещения релейной аппаратуры нельзя проводить работы, вызывающие сильное сотрясение этой аппаратуры, грозящее ложным действием реле.

При работах в цепях ТН с подачей напряжения от постороннего источника необходимо вынуть предохранители со стороны высшего и низшего напряжений и отключить автоматы от вторичных обмоток.

Проведение испытаний с подачей повышенного напряжения от постороннего источника тока

Испытания должны проводиться бригадами в составе не менее двух человек, из которых производитель работ должен иметь квалификационную группу не ниже IV, а остальные — не ниже III. Испытания должны проводить лица, прошедшие специальную подготовку и имеющие практический опыт проведения испытаний в действующих электроустановках. Не допускается одновременное проведение испытаний и других работ различными бригадами в пределах одного присоединения. Перед началом испытания необходимо проверить стационарное заземление корпусов испытываемого оборудования и надежно заземлить испытательную установку. Место испытаний, а также соединительные провода, находящиеся под испытательным напряжением, должны быть ограждены или у места испытания должен быть выставлен наблюдающий. Если соединительные провода, находящиеся под испытательным напряжением, расположены вне помещения электроустановки (коридоры, лестницы, проходы, территория), необходимо независимо от ограждения выставить охрану из одного или нескольких проинструктированных лиц, введенных в состав бригады, для предупреждения об опасности приближения или проникновения за ограждение. Лица, назначенные для охраны, могут покинуть свой пост только после получения ими команды от производителя работ. При испытаниях кабеля, противоположный конец которого расположен в закрытой и запертой камере или ячейке распределительного устройства, на дверях или ограждении должен быть вывешен плакат «Стой — высокое напряжение», а на приводах отключенных разъединителей — плакаты «Не включать — работают люди». Если двери этих ячеек или камер не заперты либо испытанию подвергается кабель с разделанными на трассе концами, то помимо плакатов у дверей камеры или ячейки, огражденного места, где находятся разделанные концы кабеля, следует выставлять охрану из включенных в состав бригады лиц.

Провод, с помощью которого повышенное напряжение от испытательной установки подводится к испытываемому оборудованию, должен быть надежно закреплен с помощью промежуточных изоляторов, изолирующих подвесок и т. п., чтобы было исключено случайное приближение этого провода к находящимся под напряжением токоведущим частям электроустановки. Присоединение испытательной установки к сети напряжением 380/220 В должно осуществляться через коммутационный аппарат с видимым разрывом, допускается присоединение через штепсельную вилку, расположенную у испытательной установки. При сборке испытательной схемы перед присоединением испытательной установки к сети 380/220 В на высоковольтный вывод установки должно быть наложено заземление с помощью специальной заземляющей штанги из изоляционного материала. Сечение заземляющего медного проводника должно быть не менее 4 мм². Перед подачей напряжения на

испытательную установку необходимо: а) проверить, все ли члены бригады находятся на местах, нет ли посторонних людей; б) предупредить бригаду словами «Подаю напряжение», после чего с вывода испытательной установки снять заземление и включением аппарата с видимым разрывом подать напряжение 380/220 В. С момента снятия заземляющей штанги вся испытательная установка, включая соединительные провода, считается под напряжением, и производить какие-либо пересоединения в испытательной схеме и на испытываемом оборудовании запрещается.

Во избежание перекрытия воздушных промежутков между находящимися под испытательным и рабочим напряжением токоведущими частями расстояния между ними должны быть не менее следующих значений:

Номинальное напряжение установки, кВ	До 10	15	20	35
Минимальное расстояние, см	15	20	25	50

По окончании испытаний производитель работ снижает напряжение испытательной установки до нуля, отключает аппарат, подающий напряжение от сети, заземляет вывод испытательной установки и сообщает об этом работникам бригады словами «Напряжение снято». Только после этого можно пересоединить провода от испытательной установки или отсоединить их в случае окончания испытаний.

До испытания изоляции, а также после испытания необходимо разрядить испытываемое оборудование на землю и убедиться в полном отсутствии на нем заряда. Наложение и снятие заземления заземляющей штангой, подсоединение и отсоединение проводов от испытательной установки и испытываемого оборудования должны проводиться одним и тем же лицом и выполняться в диэлектрических перчатках.

Измерения мегомметром на напряжение до 2,5 кВ могут проводить обученные лица с квалификационной группой не ниже III. Измерения сопротивления изоляции какой-либо части электроустановки можно проводить только тогда, когда эта часть отключена со всех сторон, в чем должно убедиться лицо, производящее измерения. Перед испытанием кабелей и воздушных линий напряжением выше 1000 В следует разрядить их, пользуясь диэлектрическими перчатками и галошами. Перед началом работы с мегомметром необходимо убедиться в отсутствии людей, производящих работы на испытываемом участке электроустановки, запретить находящимся вблизи установки лицам прикасаться к токоведущим частям и, если нужно, выставить охрану.

После измерения мегомметром необходимо разрядить испытываемое оборудование на землю и убедиться в полном отсутствии на нем заряда.

Измерения переносными приборами и токоизмерительными клещами

Измерения переносными приборами и токоизмерительными клещами должны производиться двумя лицами, одно из которых должно иметь квалификационную группу не ниже IV, а второе — не ниже III. Для измерения должны применяться клещи с амперметром, установленным на их рабочей части. Применение клещей с вынесенным амперметром не допускается. Измерения следует проводить в диэлектрических перчатках и галошах (или стоя на изолирующем основании),

держа клещи на весу. Запрещается наклоняться к амперметру при отсчете показаний, касаться приборов, резисторов, проводов и измерительных трансформаторов при производстве измерений. Измерения можно производить на участках шин, конструктивное выполнение которых исключает возможность электрического пробоя между фазами или на землю из-за уменьшения изоляционных расстояний за счет рабочей части клещей. На кабелях напряжением выше 1000 В измерения токоизмерительными клещами разрешаются только на изолированных жилах кабеля при расстояниях между ними не менее 250 мм.

Измерения переносными приборами в установках напряжением выше 1000 В производятся, как правило, через стационарные измерительные трансформаторы. Допускается непосредственное измерение в установках напряжением выше 1000 В специально изготовленными для этой цели приборами. Присоединение и отсоединение переносных приборов, требующее разрыва электрических цепей, находящихся под напряжением до 1000 В и выше, должны проводиться при полном снятии напряжения.

Работы на выключателях и разъединителях

При выполнении работ на выключателях и разъединителях (отделителях, короткозамыкателях), соединенных с приводами, необходимо принимать меры против непредвиденного включения или отключения приводов другими лицами, а также самопроизвольного включения, отключения или расцепления их (должны быть отключены силовые цепи, цепи оперативного тока, закрыты и заперты на замок вентили на трубопроводе подачи воздуха в бак выключателя или на пневматические приводы и выпущен в атмосферу имеющийся в них воздух, приведены в нерабочее положение включающие пружины или включающий груз). При дистанционном управлении выключателями или разъединителями необходимо предварительно убедиться, что на них не работают люди. Помещения должны быть заперты, а на ограждениях вывешены предупредительные плакаты.

Опробование воздушных выключателей, осциллографирование и другие работы, связанные с их включением и отключением, должны производиться после того, как все члены бригады будут удалены от выключателя на безопасное расстояние или в укрытие. Во время отключения и включения воздушных выключателей при опробовании, наладке и испытаниях присутствие людей около выключателей не допускается.

Правила испытания защитных средств

Все изолирующие защитные средства, находящиеся в эксплуатации, кроме изолирующих подставок, должны периодически подвергаться электрическим испытаниям. Перед этим их подвергают тщательному наружному осмотру, при котором проверяются их исправность, состояние изоляционных поверхностей, наличие номера и т. п. Все испытания должны проводиться переменным током с частотой 50 Гц при температуре 15—20 °С. Для испытаний защитных средств из резины можно использовать постоянный (выпрямленный) ток. Испытательное напряжение должно повышаться до полного значения постепенно, со скоростью, позволяющей следить за показаниями приборов. Начальное напряжение не должно превышать 50 % полного испытательного напряжения.

Время приложения испытательного напряжения отсчитывается с момента установления полного испытательного напряжения.

Таблица XIX.1. **Нормы и сроки электрических испытаний защитных**

Защитные средства	Напряжение электроустановки, кВ	Испытания после изготовления и капитального ремонта		
		Напряжение	Продолжительность, мин	Ток, протекающий через изделие, мА
Изолирующие штанги (кроме измерительных)	Ниже 110	$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—
	110—220	$3U_ф$	5	—
Измерительные штанги	Ниже 110	$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—
	110—330	$3U_ф$	5	—
	500	2,5 кВ на 1 см изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на всю штангу	5	—
Изолирующие клещи	1—35	$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—
	До 1	3 кВ	5	—
Токоизмерительные клещи	До 10	$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—
	До 0,6	2 кВ	5	—
Указатели напряжения				
изолирующая часть	Ниже 110	$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—
	110—220	$3U_ф$	5	—
собственно указатель, имеющий кроме крюка вывод от конденсаторов	До 220	20 кВ	1	—
Трубки с дополнительным резистором для фазировки	2—6	6 кВ	1	1,7—2,4
	10	10 кВ	1	1,4—1,7
Указатели напряжения, работающие по принципу протекания активного тока	До 0,5	1 кВ	1	—
Изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением	Ниже 110	1,7 кВ на 1 см изолирующей части, но не менее $3U_л$ на все средство	5	—

Периодические испытания и осмотры в эксплуатации				
Напряжение	Продолжительность, мин	Ток, протекающий через изделие, мА	Периодичность испытаний	Периодичность осмотров
$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—	1 раз в 2 года	1 раз в год
$3U_ф$	5	—	То же	То же
$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—	В сезон измерений 1 раз в 3 мес., но не реже 1 раза в год	—
$3U_ф$	5	—	То же	—
2,2 кВ на 1 см изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на всю штангу	5	—	» »	—
$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—	1 раз в 2 года	1 раз в год
2 кВ	5	—	То же	То же
$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—	1 раз в год	1 раз в 6 мес.
2 кВ	5	—	То же	То же
$3U_л$, но не менее 40 кВ	5	—	» »	» »
$3U_ф$	5	—	» »	» »
20 кВ	1	—	» »	» »
6 кВ	1	1,6—2,4	» »	» »
10 кВ	1	1,4—1,7	» »	» »
1 кВ	1	—	» »	Перед применением
1,5 кВ на 1 см изолирующей части, но не менее $3U_л$ на все средство	5	—	1 раз в 6 мес.	То же

Защитные средства	Напряжение электроустановки, кВ	Испытания после изготовления и капитального ремонта		
		Напряжение	Продолжительность, мин	Ток, протекающий через изделие, мА
Изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением	110 и выше	1,7 кВ на 1 см изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на все средство	5	—
Инструмент с изолированными ручками	До 1	2,5 кВ	1	—
Перчатки резиновые диэлектрические	До 1 Выше 1	3,5 кВ 9 кВ	1 1	3,5 9
Боты резиновые диэлектрические	Для всех напряжений	20 кВ	2	10
Галоши резиновые диэлектрические	До 1	5 кВ	2	2,5
Коврики резиновые диэлектрические	До 1	5,5 кВ	Протягивание со скоростью 2—3 см/с между цилиндрическими электродами	3
	Выше 1	20 кВ	То же	20
Изолирующие подставки	До 10	40 кВ	1	—
Изолирующие накладки				
резиновые	До 1	5 кВ	1	5
жесткие	До 10	20 кВ	5	—
Колпаки диэлектрические резиновые	До 10	10 кВ	2	—

Примечания. 1. Для штанг и клещей, имеющих изолирующую часть, выпол 1 мин. 2. Осмотры каждого защитного средства необходимо проводить перед его

Периодические испытания и осмотры в эксплуатации				
Напряжение	Продолжительность, мин	Ток, протекающий через изделие, мА	Периодичность испытаний	Периодичность осмотров
1,5 кВ на 1 см изолирующей части, но не менее $3U_ф$ на все средство	5	—	1 раз в 6 мес.	Перед применением
2 кВ	1	—	1 раз в год	То же
2,5 кВ	1	2,5	1 раз в 6 мес.	» »
6 кВ	1	6	То же	» »
15 кВ	1	7,5	1 раз в 3 года	1 раз в 6 мес.
3,5 кВ	1	2	1 раз в год	То же
3,5 кВ	Протягивание со скоростью 2—3 см/с между цилиндрическими электродами	3	1 раз в 2 года	1 раз в год
15 кВ	То же	16	То же	То же
—	—	—	—	1 раз в 2 года
3,5 кВ	1	3,5	1 раз в 3 года	1 раз в год
20 кВ	5	—	1 раз в год	То же
10 кВ	1	—	1 раз в 3 года	» »

ненную только из фарфора, продолжительность испытания можно сократить до применением, но не реже сроков, указанных в графе «Периодичность осмотров».

При испытании напряжением выпрямленного тока значение испытательного напряжения должно быть равным 2,5-кратному значению испытательного напряжения, принимаемого при испытании переменным током. Продолжительность испытания та же, что и при переменном токе. При испытании полное напряжение прикладывается к изолирующей части защитного средства. При отсутствии источника напряжения, необходимого для испытания изолирующего защитного средства целиком, допускается испытание по частям. При этом изолирующая часть защитного средства делится на три-четыре участка; к каждому участку прикладывается часть указанного полного испытательного напряжения, пропорциональная длине и увеличенная на 20 %.

Нормы и сроки электрических испытаний защитных средств приведены в табл. XIX.1.

Испытания изолирующих штанг, изолирующих и токоизмерительных клещей

При испытаниях этих защитных средств должны быть соблюдены следующие условия: а) один электрод присоединяется к рабочей части, а другой — к границе захвата, выше упора, где для этой цели создается металлический контакт; б) при фарфоровой изоляции напряжение прикладывается непосредственно к обоим концам фарфорового изолятора.

Во время приложения испытательного напряжения следует внимательно следить за состоянием изолирующего защитного средства. Если будут замечены разряды, пробой или перекрытие, защитное средство бракуется. Токи, протекающие через изделие, не нормируются.

Пробой отмечается по показаниям вольтметра и амперметра, и изделие считается пробитым, если наблюдается резкое снижение напряжения или возрастание тока.

После окончания испытания напряжение снижается, затем трансформатор отключается и заземляется. Сразу после этого испытываемые объекты ощупываются рукой. Если обнаруживается местный нагрев испытываемой части защитного средства, его бракуют.

Испытания указателей напряжения

При наружном осмотре указателя напряжения перед испытанием проверяется внешнее состояние прибора, отсутствие трещин на лаковом покрытии трубок, целость ламп, защитного стекла, исправное состояние наконечников.

Испытательное напряжение прикладывается к изолирующей части указателя между ограничительным кольцом и границей прибора.

Если токоведущие части прибора скрыты в изолирующей трубке, являющейся продолжением изолирующей части указателя, на поверхности трубки у границы собственно указателя устанавливается временный металлический хомутик для присоединения провода испытательной схемы. Состояние испытываемой изолирующей части указателя следует контролировать, как указано выше.

Собственно указатель, имеющий кроме крюка вывод от конденсаторов, должен испытываться в течение 1 мин напряжением 20 кВ, приложенным к крюку и к выводу. При этом проверяется исправность неоновой лампы и конденсаторов.

Кроме того, определяется напряжение отчетливо видимого свечения неоновой лампы. Оно должно быть не выше 25 % номинального напряжения электроустановки, в которой допущен к применению указатель.

Указатели не должны давать свечения от соседних цепей того же напряжения, отстоящих от испытываемой цепи на расстояниях:

Напряжение установки, кВ, до	6	10	10—35	110	154	220
Расстояние, мм	150	250	550	1500	1800	2300

Испытание трубок с неоновой лампой указателей напряжения, применяемых для фазировки, следует проводить аналогично.

Испытательное напряжение для трубок с дополнительным сопротивлением на напряжение до 6 кВ устанавливается 6 кВ, на напряжение до 10 кВ — 10 кВ.

Продолжительность испытания должна быть равной 1 мин. Напряжение прикладывается к крюку и к выводу резистора (металлический соединитель). Значение тока, протекающего при испытании через трубку с резистором, не должно превосходить в начале испытания значений, указанных в табл. XIX.1.

К концу испытания допустимо увеличение сопротивления не более чем на 40 % и соответствующее уменьшение тока.

Гибкий проводник, соединяющий указатель напряжения с трубкой с дополнительным резистором, испытывается напряжением 20 кВ в течение 1 мин. Проводник опускается в ванну с водой, один вывод испытательного трансформатора соединяется с металлическим наконечником проводника, а другой присоединяется к корпусу металлической ванны или к электроду, опущенному в воду. Ток, проходящий через изоляцию, не должен превышать 20 мА.

Таблица XIX.2. **Значения напряжений отчетливо видимого свечения**

Фазировка на напряжении, кВ	Напряжение зажигания (порог свечения) при согласном включении, В, не ниже	Напряжение отчетливо видимого свечения при встречном включении, В, не выше
2	2500	500
3	3800	750
6	7600	1500
10	12700	2750

После испытания дополнительного резистора следует произвести испытание на фазировку комплекта, состоящего из указателя напряжения и трубки с дополнительным к нему резистором. Испытание должно проводиться по двум схемам. Первая схема — случай согласного включения на сфазированное напряжение. Испытание имеет целью проверить, не будет ли возникать свечение неоновой лампы при подобном включении.

Крюки установленных на изоляторах указателя напряжения и трубки с дополнительным резистором соединяются между собой и присоединяются к выводу испытательного трансформатора; второй вывод трансформатора заземляется.

Вторая схема — случай встречного включения на несфазированное напряжение. Испытание имеет целью установить наименьший порог зажигания неоновой лампы при подобном включении. Крюк указателя напряжения присоединяется к одному из выводов трансформатора, ко второму выводу трансформатора присоединяется крюк трубки с дополнительным резистором, соединенной с указателем напряжения в комплект. При испытаниях во время подъема напряжения фиксируется напряжение, при котором возникает отчетливо видимое свечение неоновой лампы. Значение этого напряжения в зависимости от схемы включения дополнительного резистора приведено в табл. XIX.2.

Испытания указателей напряжения, работающих по принципу протекания активного тока

Для испытания повышенным напряжением изолирующие рукоятки по всей длине до упоров покрываются фольгой. Провод, соединяющий рукоятки, опускается в сосуд с водой таким образом, чтобы вода покрывала весь провод до ручек приборов. Один провод от источника питания напряжением 1000 В подводится к одному из наружных контактов — щупов указателя напряжения, второй провод подводится к фольге, покрывающей рукоятки, и к воде.

Определение порога зажигания проводится с помощью вольтметра класса 0,5 со шкалой до 150 В. Порог зажигания неоновой лампы должен быть не выше 90 В. Ток, потребляемый токоискателем, не должен превышать 2 мА. Проверка на отсутствие свечения неоновой лампы от напряжения одной фазы производится путем прикосновения одним из щупов к проводу, находящемуся под напряжением 500 В. Неоновая лампа при этом не должна светиться.

Испытания инструмента с изолированными ручками

При испытании изолированные ручки инструмента погружаются в воду таким образом, чтобы над водой выступала металлическая часть и часть изолированной ручки высотой около 1 см. Один электрод присоединяется к металлической части инструмента и к выводу испытательного трансформатора, второй электрод опускается в сосуд с водой и присоединяется к другому заземленному выводу испытательного трансформатора.

Испытания диэлектрических перчаток, бот и галош

Диэлектрические перчатки, боты и галоши при испытании погружаются в сосуд с водой, которая заливается также и внутрь этих изделий. Уровень воды как снаружи, так и внутри должен быть на 5 см ниже верхнего края перчаток или отворотов бот. Для галош, установленных горизонтально, уровень воды должен быть на 2 см ниже верхнего края борта. Выступающие края испытываемых изделий должны быть сухими. Один электрод опускается в сосуд вне испытываемого изделия и соединяется с одним из выводов испытательного трансформатора, второй вывод трансформатора заземлен. Другой электрод опускается внутрь изделия и через миллиамперметр соединяется с землей. Могут быть применены и другие схемы испытаний.

При испытании защитных средств из резины переменным током должны быть измерены токи, протекающие через изделие. В случае резких колебаний стрелки прибора или показаний его, превышающих предельно допустимые, защитное средство бракуется. При испытании напряжением выпрямленного тока значение тока, протекающего через изделие, не нормируется.

Испытания диэлектрических ковриков

Диэлектрические резиновые коврики испытываются путем пропускания их со скоростью 2—3 см/с между цилиндрическими электродами. Для измерения токов, протекающих через коврик, в электрическую цепь включается миллиамперметр. Пробой коврика фиксируется по вольтметру.

Можно испытывать коврики в металлической ванне, наполненной водой.

Испытания изолирующих подставок

Электрические испытания изолирующих подставок проводятся после испытания их на механическую прочность. Электрические испытания изолирующих подставок заключаются в испытании опорных изоляторов. Испытательное напряжение должно быть равно 40 кВ независимо от напряжения электроустановки, для которой предназначаются подставки, продолжительность испытания 1 мин. Опорные изоляторы изолирующих подставок могут испытываться отдельно или совместно с настилом, в последнем случае перед испытанием опорные изоляторы соединяются проволокой по верхним и нижним основаниям отдельно, после чего от одного из выводов испытательного трансформатора напряжение подается к верхним основаниям, а от другого вывода — непосредственно или через землю к нижним основаниям изоляторов. При испытаниях необходимо наблюдать за состоянием изоляторов: если происходят скользящие разряды или перекрытия, подставка бракуется. После испытания на торцах опорных изоляторов ставится штамп об испытании.

Забракованные опорные изоляторы разбиваются, изолирующие подставки в целом или частично ремонтируются, после чего подлежат повторному испытанию.

Испытания изолирующих накладок

Изолирующие накладки из бакелита, текстолита, пластических масс и т. п. должны испытываться на пробой и на перекрытие по поверхности. Для испытания накладок на пробой каждый электрод должен иметь поверхность соприкосновения с накладкой не менее 50 % одной боковой поверхности накладки. Испытание накладок на перекрытие по поверхности следует производить с помощью электродов любого размера, прикладываемых с каждой боковой стороны накладки. Расстояние между электродами по поверхности накладки не должно превышать расстояния между полюсами разъединителя на напряжение 10 кВ.

Во время приложения испытательного напряжения следует внимательно следить за состоянием испытываемой изолирующей накладки. Если происходят разряды, пробой или перекрытие, изолирующая накладка бракуется.

Токи, протекающие через изолирующую накладку, не нормируются. Пробой отмечается по показаниям вольтметра, и изделие считается пробитым, если наблюдается резкое снижение напряжения или возрастание тока. После окончания испытания напряжение снижается, затем испытательный трансформатор отключается и заземляется. Сразу после этого испытываемая накладка ощупывается рукой. Если ощупыванием обнаружен местный нагрев испытываемой накладки, она бракуется.

Изолирующие накладки из резины после изготовления должны испытываться в специальной металлической ванне. Вода, заливаемая в ванну поверх накладки, не должна доходить до краев накладки с наружной и внутренней стороны на 50 мм. Один вывод испытательного трансформатора присоединяется к заземленной ванне, ко второму присоединяется электрод, помещенный в воду поверх накладки. Для измерения тока, протекающего через накладку, в цепь обмотки высокого напряжения испытательного трансформатора включается миллиамперметр,

Испытание изолирующих накладок можно также производить аналогично испытанию диэлектрических ковриков пропусканием накладок между цилиндрическими электродами со скоростью 2—3 см/с.

Испытания резиновых колпаков

Методика испытания резиновых колпаков аналогична рассмотренной выше методике испытания резиновых диэлектрических перчаток, бот и галош.

Испытания изолирующих защитных средств для производства ремонтных работ под напряжением выше 1000 В

Изолирующие защитные средства для производства ремонтных работ под напряжением выше 1000 В испытываются напряжением промышленной частоты, равным трехкратному номинальному фазному напряжению установки, в которой они используются, для установок напряжением 110 кВ и выше и трехкратному линейному — для установок напряжением ниже 110 кВ (см. табл. XIX.1). Продолжительность приложения напряжения 5 мин. Изолирующие защитные средства считаются выдержавшими испытания, если при испытаниях отсутствуют разряды, а после снятия напряжения не обнаружен нагрев.

Изолирующие устройства, служащие для изоляции человека от земли (лестницы, площадки и другие аналогичные устройства), следует испытывать напряжением, равным 1,7 кВ на каждый сантиметр длины изолирующей части, при приемных испытаниях и 1,5 кВ на каждый сантиметр длины при периодических испытаниях. Полное испытательное напряжение при этом должно соответствовать указанным выше значениям.

Изолирующие приспособления, служащие для выполнения отдельных операций при ремонтных работах под напряжением (изолирующие тяги для восприятия веса, захваты для переноса натяжных гирлянд и другие аналогичные приспособления), испытываются полным испытательным напряжением указанного выше значения. Методика испытаний аналогична рассмотренной выше методике испытаний изолирующих штанг, изолирующих и токоизмерительных клещей.

Габаритники (специальные ограждения, служащие для предотвращения приближения работающих к токоведущим частям), непосредственно соприкасающиеся с токоведущими частями, должны испытываться в соответствии с приведенными выше общими указаниями для испытания изолирующих защитных средств для производства работ под напряжением выше 1000 В.

Электрические испытания габаритников, непосредственно не соприкасающихся с токоведущими частями, не обязательны.

Переносный электрифицированный инструмент и понижающие трансформаторы безопасности

Переносный электрифицированный инструмент и понижающие трансформаторы безопасности испытываются в следующем объеме.

1. Измерение сопротивления изоляции.

2. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Измерение сопротивления изоляции производится мегомметром на напряжение 500 В у обмоток и токоведущего кабеля электрифицированного инструмента относительно корпуса и наружных металлических деталей; у понижающих трансформаторов безопасности — между

первичной и вторичной обмотками и между каждой из обмоток и корпусом.

Сопротивление изоляции должно быть не менее 1 МОм, а при наличии двойной изоляции токоведущих частей от корпуса — не менее 2 МОм.

Испытательное напряжение при испытании изоляции обмоток и токоведущего кабеля электрифицированного инструмента относительно корпуса и наружных металлических деталей принимается согласно табл. XIX. 3. Продолжительность приложения испытательного напряжения 1 мин.

Таблица XIX. 3. **Значения испытательного напряжения промышленной частоты электрифицированного инструмента**

Номинальное напряжение инструмента, В	Мощность инструмента, кВт	Испытательное напряжение, В
36	До 2	500
Выше 36	До 1	900
36	Более 1	1350

Испытание изоляции электрифицированного инструмента повышенным напряжением промышленной частоты может быть заменено измерением одноминутного значения сопротивления изоляции мегомметром на напряжение 2500 В. Такая замена одного вида испытания другим может быть допущена, если сопротивление изоляции электрифицированного инструмента составляет не менее 10 МОм.

У электрифицированного инструмента корпус и другие корпусные детали, выполненные из диэлектрического материала, на время испытания должны быть обернуты металлической фольгой, соединенной с заземляющим устройством.

При испытании изоляции обмоток понижающих трансформаторов безопасности испытательное напряжение прикладывается поочередно к каждой из обмоток. При этом остальные обмотки должны быть электрически соединены с заземленными корпусом и магнитопроводом.

Испытательное напряжение принимается равным 1350 В при номинальном напряжении первичной обмотки трансформатора 127—220 В и 1800 В при номинальном напряжении первичной обмотки 380—400 В.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеенко Г. В., Ашрятов А. К., Веремей Е. В.* Испытание мощных трансформаторов и реакторов.— М. : Энергия, 1978.— 519 с.
2. *Андреев В. А., Бондаренко Е. В.* Релейная защита, автоматика и телемеханика в системах электроснабжения.— М. : Высш. шк., 1975.— 375 с.
3. *Барзам А. Б.* Системная автоматика.— М. : Энергия, 1973.— 391 с.
4. *Беркович М. А., Гладышев В. А., Семенов В. А.* Автоматика энергосистем.— М. : Энергия, 1980.— 224 с.
5. *Гельфанд Я. С., Голубев М. Л., Царев М. И.* Релейная защита и электроавтоматика на переменном оперативном токе.— М.: Энергия, 1973.— 280 с.
6. *Гемке Р. Г.* Неисправности электрических машин.— Л.: Энергия, 1975.— 296 с.
7. *Гильчер О. А., Кудрявцев А. К., Кудряков В. П., Попов В. Г.* Переносные устройства для наладки электроустановок.— М.: Энергия, 1980.— 87 с.
8. *Глебов Е. М., Зеленцов В. Е.* Защита полупроводниковых преобразователей.— М. : Энергоиздат, 1982.— 153 с.
9. *Глебов И. А., Логинов С. И.* Системы возбуждения и регулирования синхронных двигателей.— Л. : Энергия, 1972.— 112 с.
10. *Грин Г. И.* Измерение параметров и испытание полупроводниковых приборов.— М. : Высш. шк., 1978.— 216 с.
11. *Дементьев В. С.* Как определить место повреждения в силовом кабеле.— М. : Энергия, 1980.— 74 с.
12. *Деро А. Р.* Неполадки в работе асинхронного двигателя.— Л. : Энергия, 1976.— 96 с.
13. *Жерве Г. К.* Промышленные испытания электрических машин.— Л. : Энергия, 1968.— 574 с.
14. *Каганович Е. А., Райхлин И. М.* Испытание трансформаторов 630 кВ · А и напряжением до 35 кВ.— М. : Энергия, 1980.— 312 с.
15. *Каменев В. Н.* Пусконаладочные работы при монтаже электроустановок.— М. : Высш. шк., 1981.— 304 с.
16. *Кондратюк В. Н., Резинский С. Р., Евзеров И. Х.* Тиристорные преобразователи.— М. : Энергия, 1978.— 104 с.
17. *Константинов Б. А., Зайцев Г. З.* Компенсация реактивной мощности.— Л. : Энергия, 1976.— 103 с.
18. *Крикун И. В.* Испытания заземляющих устройств электроустановок.— М. : Энергия, 1973.— 80 с.
19. *Линт Г. Е.* Релейная защита на унифицированных полупроводниковых элементах.— М. : Энергия, 1977.— 88 с.

20. *Методические* указания по наладке и эксплуатации автоматических выключателей серии А3700 на электростанциях и подстанциях.— М. : СПО Союзтехэнерго, 1981.— 106 с.
21. *Мищенко А. И.* Бесконтактные синхронные машины с автоматическим регулированием возбуждения.— Киев: Наук. думка, 1980.— 223 с.
22. *Наводворец Л. А.* Проверка, регулировка, настройка контакторов переменного тока.— М. : Энергия, 1979.— 95 с.
23. *Нормы* испытания электрооборудования / Минэнерго СССР.— М.: СПО ОРГРЭС, 1977.— 421 с.
24. *Общая* инструкция по проверке устройств релейной защиты, электроавтоматики и вторичных цепей / Минэнерго СССР.— М. : Энергия, 1975.— 118 с.
25. *Петров Л. П.* Управление пуском и торможением асинхронных двигателей.— М. : Энергоиздат, 1981.— 184 с.
26. *Правила* устройства электроустановок / Минэнерго СССР.— М. : Атомиздат, 1978.— 1982 с.
27. *Соловьев И. И.* Автоматические регуляторы синхронных генераторов.— М. : Энергоиздат, 1981.— 247 с.
28. *Справочник* по наладке автоматических устройств контроля и регулирования / В. А. Дубровный, Е. И. Забокрицкий, В. Г. Трегуб, Б. А. Холодовский.— Киев : Наук. думка, 1981.— 937 с.
29. *Справочник* по наладке вторичных цепей электростанций и подстанций / Под ред. Э. С. Мусаэляна.— М. : Энергия, 1978.— 303 с.
30. *Справочник* по наладке электрооборудования электростанций и подстанций / Под ред. Э. С. Мусаэляна.— М. : Энергия, 1971.— 416 с.
31. *Справочник* по наладке электроустановок / Под ред. А. С. Дорофеюка, А. П. Хечумяна.— М. : Энергия, 1977.— 559 с.
32. *Тун А. Я.* Наладка электрических машин электроприводов.— М. : Энергия, 1970.— 192 с.
33. *Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г.* Испытание силовых полупроводниковых приборов.— М. : Энергоиздат, 1981.— 201 с.
34. *Шабад М. А.* Автоматика электрических сетей в сельской местности.— Л. : Энергия, 1979.— 104 с.
35. *Шабад М. А.* Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей.— Л. : Энергия, 1979.— 286 с.
36. *Штерн В. И.* Испытания масляных выключателей.— М.: Энергия, 1975.— 112 с.
37. *Якобсон И. А.* Испытания переключающих устройств силовых трансформаторов.— М. : Энергия, 1970.— 57 с.
38. *Якобсон И. А.* Наладка быстродействующих устройств силовых трансформаторов.— М. : Энергия, 1975.— 94 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

ЕВГЕНИЙ ИОСИФОВИЧ ЗАБОКРИЦКИЙ
БОРИС АБРАМОВИЧ ХОЛОДОВСКИЙ
АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ МИТЧЕНКО

СПРАВОЧНИК ПО НАЛАДКЕ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ЭЛЕКТРОАВТОМАТИКИ

Печатается по решению редакционной коллегии справочной литературы АН УССР

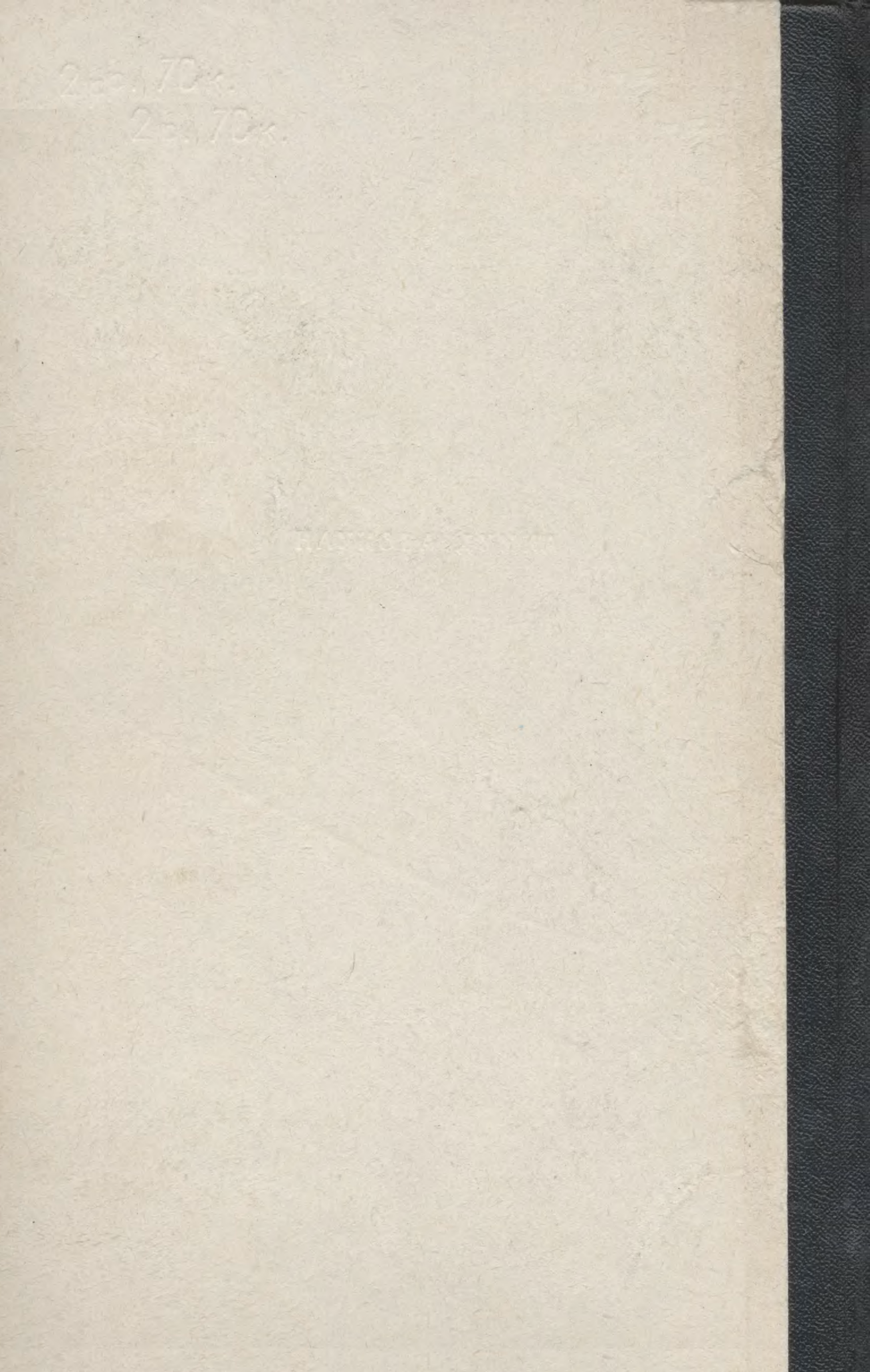
Редактор *Р. И. Гусячая*
Оформление художника *В. Г. Самсонова*
Художественный редактор *А. В. Косяк*
Технический редактор *И. Н. Лукашенко*
Корректоры *С. А. Евецкая, Л. М. Тищенко, Е. А. Михалец, Э. М. Киянская*

Информ. бланк № 6675.

Сдано в набор 08.10.84. Подп. в печ. 26.04.85. БФ 01579.
Формат 84×108/32. Бумага тип. № 3. Лит. гарн. Выс. печ.
Усл. печ. л. 36,96. Усл. кр.-отт. 37,17. Уч.-изд. л. 49,25.
Тираж 23 100. Зак. 4-897. Цена 2 р. 70 к.

Издательство «Наукова думка». 252601 Киев 4, ул. Репина, 3.

Книжная фабрика им. М. В. Фрунзе, 310057 Харьков 57, Донец-Захаржевского, 6/8.


2р. 70к.
2р. 70к.